

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки: «Нефтегазовое дело»  
Профиль подготовки: «Строительство глубоких нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях»  
Отделение нефтегазового дела

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Исследование понизителей фильтрации буровых растворов на основе карбоксиметильных эфиров крахмала и целлюлозы</b>

УДК 622.24.063.2:532.546

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Д	Зубрилин Максим Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Минаев Константин Мадестович	К.Х.Н		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Макашева Юлия Сергеевна	—		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Задорожная Татьяна Анатольевна	К.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ковалев Артем Владимирович	К.Т.Н		

Томск – 2018 г.

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения <i>прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики).</i>
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные <i>исследования с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в сложных и неопределённых условиях; использовать принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности.</i>
P3	Проявлять профессиональную <i>осведомленность о передовых знаниях и открытиях</i> в области нефтегазовых технологий с учетом <i>передового отечественного и зарубежного опыта</i> ; использовать <i>инновационный подход</i> при разработке новых идей и методов <i>проектирования</i> объектов нефтегазового комплекса для <i>решения инженерных задач</i> развития нефтегазовых технологий, <i>модернизации и усовершенствования</i> нефтегазового производства.
P4	<i>Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы</i> для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила <i>охраны здоровья и безопасности труда</i> , выполнять требования по <i>защите окружающей среды.</i>
P5	Быстро ориентироваться и выбирать <i>оптимальные решения в многофакторных ситуациях</i> , владеть методами и средствами <i>математического моделирования</i> технологических процессов и объектов.
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при <i>разработке и реализации проектов</i> , проводить <i>экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность.</i>
P7	Эффективно работать <i>индивидуально</i> , в качестве <i>члена и руководителя команды</i> , умение формировать задания и <i>оперативные планы</i> всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести <i>ответственность за результаты работы.</i>
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности; активно <i>владеть иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки: «Нефтегазовое дело»  
Профиль подготовки: «Строительство глубоких нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях»  
Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ Ковалев А.В.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**  
в форме магистерской диссертации

Студенту:

Группа	Фамилия Имя Отчество
2БМ6Д	Зубрилину Максиму Игоревичу

Тема работы:

Исследование понизителей фильтрации буровых растворов на основе карбоксиметильных эфиров крахмала и целлюлозы
Утверждена приказом директора

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	<p><u>Проблема:</u> необходимость снижения стоимости используемых в буровых растворах полисахаридных реагентов.</p> <p><u>Объект исследования:</u> современные системы полимер-глинистых, минерализованных полимер-глинистых и биополимерных буровых растворов, содержащих понизители фильтрации на основе карбоксиметилированной целлюлозы и крахмала.</p> <p><u>Предмет исследования:</u> фильтрационные и реологические свойства буровых растворов с понизителями фильтрации на основе карбоксиметилированной целлюлозы и крахмала, устойчивость буровых растворов с использованием данных реагентов к воздействию солей, температур и биологической деструкции.</p> <p><u>Методы и средства исследования:</u> аналитические и инструментальные (методы определения параметров буровых растворов по ГОСТ 33213-2014 и РД 39-00147001-773-2004 (фильтрационные и реологические свойства); свойства полисахаридных реагентов согласно ASTM D1439-15).</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p><u>Цель диссертации:</u> исследование возможности применения карбоксиметилкрахмала (КМК) в современных рецептурах буровых растворов в качестве понизителя фильтрации и альтернативы реагентов на основе низковязкой полианионной целлюлозы (ПАЦ НВ) и оценка устойчивости буровых растворов с использованием данных реагентов к воздействию солей, температур и биологической деструкции.</p> <p><u>Задачи диссертации:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Провести обзор российской и зарубежной литературы по теме научного исследования.</li> <li>2. Проведение экспериментальных исследований в лабораторных условиях.</li> <li>3. Формулировка выводов и рекомендаций.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Необходимость в графических материалах отсутствует</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)</p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Макашева Юлия Сергеевна, ассистент отделения социально-гуманитарных наук</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Задорожная Татьяна Анатольевна, к.т.н., ассистент отделения контроля и диагностики</p>
<p>Раздел, выполненный на иностранном языке</p>	<p>Стрельникова Анна Борисовна, к.ф.н., доцент отделения иностранных языков</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b></p>	
<p>1. Выводы и рекомендации</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение магистерской диссертации по линейному графику</b></p>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Минаев Константин Мадестович	к.х.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Д	Зубрилин Максим Игоревич		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ6Д	Зубрилину Максиму Игоревичу

Инженерная школа	ИШПР	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	магистратура	Направление	«Нефтегазовое дело»

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT-анализ проекта
2. Планирование и формирование бюджета научно-исследовательских работ	1. Структура работ в рамках научного исследования 2. Определение трудоемкости выполнения работ 3. Разработка графика проведения научного исследования 4. Расчет материальных затрат на проведение научно-исследовательских работ 5. Расчет затрат на специальные оборудования и компоненты 6. Затраты по основной заработной плате 7. Отчисления в государственные внебюджетные фонды 8. Расчет накладных расходов 9. Формирование бюджета научно-исследовательского проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Макашева Юлия Сергеевна	—		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Д	Зубрилин Максим Игоревич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2БМ6Д	Зубрилину Максиму Игоревичу

<b>Инженерная школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение</b>	Нефтегазового дела
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление</b>	«Нефтегазовое дело»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования – системы полимер-глинистых, минерализованных полимер-глинистых и биополимерных буровых растворов, содержащих понизители фильтрации на основе карбоксиметилированной целлюлозы и крахмала.</p> <p>Предмет исследования: фильтрационные и реологические свойства бурового раствора.</p> <p>Методы и средства исследования: аналитические и экспериментальные (лабораторные)</p> <p>Область применения: бурение скважин.</p> <p>Рабочая зона – лаборатория буровых растворов.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования. 1.2. Анализ выявленных вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований. 1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов.	1.1 Факторы, создаваемые объектом исследования в производственных условиях. 1.2 Вредные и опасные факторы, возникающие в лабораторном помещении при проведении исследований: – отклонение показателей микроклимата в лаборатории от нормы; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – электрический ток; – движущейся машины и механизмы производственного оборудования; Рассмотреть источники опасностей, воздействие на человека, нормирование, мероприятия по защите от данных факторов.
<b>2. Экологическая безопасность</b> 2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду. 2.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду. 2.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	1. Проанализировать воздействия объекта исследования на геологическую среду, гидро- и литосферу и предложить возможные мероприятия и средства защиты. 2. Методы утилизации буровых отходов.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b> 3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследования. 3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований. 3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС.	В качестве наиболее распространенной ЧС в лаборатории рассмотрен пожар. Необходимо описать возможные причины данной ЧС, рассмотреть мероприятия по предотвращению ЧС и составить план действий на случай, если ЧС уже произошла.

<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b> 4.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства. 4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователей	Рассмотреть нормы правовые нормы трудового законодательства для работника лаборатории, а также нормы по компоновке рабочего места в лаборатории.
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Задорожная Татьяна Анатольевна	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Д	Зубрилин Максим Игоревич		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки: «Нефтегазовое дело»  
Профиль подготовки: «Строительство глубоких нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях»  
Отделение нефтегазового дела  
Уровень образования: Магистратура  
Период выполнения: весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
--------------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения магистерской диссертации**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
1 марта 2018 года	1. Проведение литературного обзора	50
15 мая 2018 года	2. Проведение экспериментальных исследований в лабораторных условиях и анализа полученных результатов	40
20 мая 2018 года	3. Формулирование выводов и рекомендаций	5
25 мая 2018 года	4. Предварительная защита диссертации	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Минаев Константин Мадестович	к.х.н		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ковалев Артем Владимирович	к.т.н.		



## Реферат

Магистерская диссертация содержит 113 страниц, 22 рисунка, 24 таблицы, 51 литературный источник, 1 приложение.

Ключевые слова: буровой раствор, полимеры, понизители фильтрации, карбоксиметилкрахмал, полианионная целлюлоза.

Объектами исследования являются современные системы полимер-глинистых, минерализованных полимер-глинистых и биополимерных буровых растворов, содержащих понизители фильтрации на основе карбоксиметилированной целлюлозы и крахмала.

Целью магистерской диссертации является исследование возможности применения карбоксиметилкрахмала (КМК) в современных рецептурах буровых растворов в качестве понизителя фильтрации и альтернативы реагентов на основе низковязкой полианионной целлюлозы (ПАЦ НВ) и оценка устойчивости буровых растворов с использованием данных реагентов к воздействию солей, температур и биологической деструкции.

В процессе работы проводились экспериментальные исследования фильтрационных и реологических свойств с целью оценки устойчивости указанных буровых растворов, содержащих понизители фильтрации (КМК и ПАЦ НВ), к воздействию солей, температур и микроорганизмов.

В результате исследования проведено сравнение полимер-глинистых и биополимерных буровых растворов с использованием КМК и ПАЦ НВ в качестве понизителей фильтрации. Показано, что буровые растворы с использованием ПАЦ НВ обладают большей пластической вязкостью и динамическим напряжением, однако структурно-механические свойства буровых растворов выше при введении КМК. КМК, как понизитель фильтрации, обладает низкой эффективностью в минерализованных буровых растворах, при этом в условиях низких температур обеспечивает фактически равную по сравнению с ПАЦ НВ фильтрацию в полимер-глинистых и биополимерных растворах. Установлено, что КМК может использоваться как

альтернатива ПАЦ НВ в полимер-глинистых и биополимерных буровых растворах при бурении скважин с умеренными забойными температурами.

Степень изученности вопроса – проведены экспериментальные исследования, изучены закономерности реологических и фильтрационных параметров буровых растворов.

Область применения – буровые растворы при бурении нефтяных и газовых скважин скважин.

Актуальность исследований обусловлена необходимостью снижения стоимости используемых в буровых растворах полисахаридных реагентов, а соответственно и стоимости строительства скважины. Это направление исследований позволит определить области применения реагентов на основе карбоксиметилированного крахмала в современных рецептурах буровых растворов.

## **Используемые обозначения и сокращения**

КМК – карбоксиметилкрахмал

КМЦ – карбоксиметилцеллюлоза

КМЦ НВ – карбоксиметилцеллюлоза низковязкая

ПАЦ – полианионная целлюлоза

ПАЦ НВ – полианионная целлюлоза низковязкая

СНС – статическое напряжение сдвига

ДНС – динамическое напряжение сдвига

РV – пластическая вязкость

УР – динамическая вязкость

ПБМБ – марка бентопорошка, произведенного из бентонита, активированного кальцинированной содой

## Оглавление

Введение.....	15
1 Литературный обзор .....	17
1.1 Модифицированные природные полимеры .....	18
1.1.1 Карбоксиметилцеллюлоза и полианионная целлюлоза .....	19
1.1.2 Карбоксиметилкрахмал .....	22
1.2 Фильтрационные свойства буровых растворов .....	24
1.2.1 Теория фильтрации .....	25
1.2.2 Влияние различных факторов на фильтрационные свойства буровых растворов на водной основе, содержащих КМК и ПАЦ .....	27
1.3 Вывод по литературному обзору .....	32
2 Методы исследований .....	35
2.1 Методика проведения исследований.....	35
2.1.1 Определение фильтрационных свойств.....	35
2.1.2 Определение реологических свойств.....	35
2.1.3 Исследование бактерицидной стойкости понижителей фильтрации.....	35
2.2 Оборудование для приготовления моделей буровых растворов .....	38
2.3 Определение реологических свойств буровых растворов .....	39
2.3.1 Определение условной вязкости с помощью вискозиметра ВБР-2 .....	39
2.3.2 Измерение реологических свойств вискозиметром OFITE-900 .....	40
2.4 Определение фильтрационных свойств буровых растворов.....	42
2.4.1 Определение фильтрационных свойств с помощью фильтр-пресса низкого давления и температуры OFITE .....	42

2.4.2	Определение фильтрационных свойств буровых растворов в условиях приближенных к пластовым.....	43
3	Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение.....	47
3.1	Результаты исследования фильтрационных свойств буровых растворов.....	47
3.2	Результаты исследования реологических свойств буровых растворов.....	51
3.3	Результаты исследования бактерицидной стойкости буровых растворов .....	54
3.4	Выводы из проведенных исследований.....	55
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. ....	57
4.1	SWOT-анализ.....	57
4.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	63
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	63
4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	64
4.2.3	Разработка графика проведения научного исследования .....	65
4.2.4	Расчет материальных затрат научно-исследовательского проекта .....	68
4.2.5	Расчет затрат на специальные оборудования и компоненты для проведения научных исследования и экспериментальных работ .....	69
4.2.6	Затраты по основной заработной плате .....	69
4.2.7	Отчисления в государственные внебюджетные фонды.....	72
4.2.8	Накладные расходы.....	73
4.2.9	Формирование бюджета научно-исследовательского проекта .....	73
5	Социальная ответственность .....	75
5.1	Анализ вредных и опасных факторов, создаваемых объектом исследования.....	76

5.2 Производственная безопасность .....	76
5.2.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению .....	77
5.2.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению .....	81
5.3 Экологическая безопасность.....	83
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду ...	83
5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.....	85
5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды .....	86
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	87
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, инициируемых объектом исследования ..	87
5.4.2 Анализ вероятных ЧС, возникающих в лаборатории при проведении исследований и обоснование мероприятий по их предотвращению .....	87
5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	90
5.5.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства, характерные для рабочей зоны исследователя .....	90
5.5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя .....	93
Заключение.....	95
Список литературы .....	97
Приложение А.....	103

## **Введение**

Процессы фильтрации играют одну из главных ролей для сохранения проницаемости пород продуктивного пласта, а также для предупреждения аварий и осложнений. В целях снижения проницаемости фильтрационной корки применяются понизители фильтрации. В современных рецептурах буровых растворов на водной основе в основном они представлены КМЦ НВ со степенью замещения около 85 и ПАЦ НВ с замещением более 90. Менее дорогостоящие понизители фильтрации на основе крахмала в настоящий момент применяются ограниченно, в основном для вскрытия продуктивных пластов. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью снижения стоимости используемых в буровых растворах полисахаридных реагентов, а соответственно и стоимости строительства скважины. Исследование позволит определить области применения реагентов на основе карбоксиметилированного крахмала в современных рецептурах буровых растворов. Полноценных исследований, подтверждающих эффективность и возможность замены ПАЦ и КМЦ, на КМК проведено не было.

Целью работы является исследование возможности применения карбоксиметилкрахмала (КМК) в современных рецептурах буровых растворов в качестве понизителя фильтрации и альтернативы более дорогостоящим реагентам на основе низковязкой полианионной целлюлозы.

Объектами исследования являются современные системы полимер-глинистых, минерализованных полимер-глинистых и биополимерных буровых растворов, содержащих понизители фильтрации на основе карбоксиметилированной целлюлозы и крахмала. Предмет исследования – фильтрационные и реологические свойства данных буровых растворов, устойчивость к воздействию солей, температур и биологической деструкции.

В процессе исследования проведены лабораторные эксперименты, изучены реологические и фильтрационные параметры полимер-глинистых, минерализованных полимер-глинистых и биополимерных буровых растворов, содержащих КМК и ПАЦ НВ и изменение этих параметров вследствие воздействия солей, температур, бактерий.

В результате исследования выявлено, что буровые растворы с использованием ПАЦ НВ обладают большей пластической вязкостью и динамическим напряжением, однако структурно-механические свойства буровых растворов выше при введении КМК. КМК, как понизитель фильтрации, обладает низкой эффективностью в минерализованных буровых растворах, при этом в условиях низких температур обеспечивает фактически равную по сравнению с ПАЦ НВ фильтрацию в полимер-глинистых и биополимерных растворах. Установлено, что КМК может использоваться как альтернатива ПАЦ НВ в полимер-глинистых и биополимерных буровых растворах при бурении скважин с умеренными забойными температурами.



## 1 Литературный обзор

Предъявляемые к промывочным жидкостям требования постоянно расширяются, а вместе с ними претерпевают изменения их рецептуры, физико-механические и химические свойства: от «буровой грязи» (в начале возникновения бурения в III-IV вв. – бурение неглубоких скважин в середине XX вв.) до сложных многокомпонентных систем с регулируемыми в широком диапазоне технологическими свойствами, применяемых в настоящее время. Это буровые растворы на водной, углеводородной основах и газообразные растворы, пены [1].

Основной областью применения растворов на углеводородной основе (РУО) является вскрытие продуктивных нефтяных горизонтов с низким пластовым давлением, также они применяются при бурении скважин в условиях высоких положительных и отрицательных значений забойных температур, проходки соленосных толщ и высокопластичных глин. Область их применения связана с их свойствами. По сравнению с буровыми растворами на водной основе они обладают рядом преимуществ: высокая стабильность во времени (можно длительно хранить и многократно использовать), инертность к глинам и солям, высокая термостойкость (до 220 °C), практически не фильтруются в проницаемые пласты, а их фильтрат не оказывает вредного воздействия на продуктивные нефтяные пласты. Однако, не смотря на такое количество положительных качеств, широкое применение РУО сдерживают ряд значительных недостатков: высокая стоимость, трудность очистки шлама, трудность проведения электрометрических работ, токсичность и экологическая вредность.

Основой для газообразных промывочных агентов служат природный газ, выхлопные газы ДВС, сжатый воздух. Они могут быть эффективно использованы при бурении скважин в твердых породах (известняках, доломитах), многолетнемерзлых породах, в поглощающих горизонтах, при вскрытии продуктивных пластов с низким давлением (0,3-0,8

гидростатического) [18]. Данные растворы не получили широкого распространения из-за трудности в приготовлении и регулировании их свойств, ограниченной области применения.

Буровые растворы на водной основе (РВО) являются наиболее часто применяемым раствором для бурения во всем мире. Главными недостатками буровых растворов на водной основе являются их взаимодействие с глинами (наиболее часто разбурывающиеся породы), высокая фильтрация. Применение различных рецептур с применением специальных реагентов позволяет адаптировать РВО для различных условий бурения.

В настоящее время значимую часть применяемых буровых растворов на водной основе занимают полимер-глинистые и биополимерные растворы, где реологические и фильтрационные свойства регулируются полисахаридными реагентами, такими как карбоксиметилированные крахмал и целлюлоза, ксантановая смола и водорастворимые крахмалы [1, 2]. Несмотря на сходство состава полисахаридов, их можно разделить по основной функции на структурообразователи (ксантан, КМЦ высокомолекулярная и др.) и понизители фильтрации (крахмал, низкомолекулярные КМЦ и КМК и др.) [3-5].

### **1.1 Модифицированные природные полимеры**

Модифицированные природные полимеры широко применяются при приготовлении буровых растворов. Целлюлоза и крахмал – это природные полимеры, которые часто используют для производства модифицированных полимеров. Свойства модифицированных полимеров отличаются от свойств естественных полимеров. Чтобы неионные естественные полимеры (целлюлозу или крахмал) можно было использовать в буровых растворах, так как они не растворяются в воде, их модифицируют в полиэлектролиты. Модификация полимеров заключается в изменении повторяющихся

составных частей полимеров. Полиэлектролит – это растворимый в воде полимер, образующий полиионы и ионы с противоположными знаками заряда. Полион имеет несколько электрических зарядов вдоль своей полимерной цепочки. Заряды могут быть положительными, как у катионных полимеров, или отрицательными, как у анионных полимеров. Есть несколько примеров катионных полимеров, однако большинство используемых в бурении полимеров имеют отрицательный заряд. В качестве модифицированных природных полимеров, применяемых в качестве понизителей фильтрации, будут рассмотрены исследуемые в данной работе карбоксиметилированные крахмал и целлюлоза.

### 1.1.1 Карбоксиметилцеллюлоза и полианионная целлюлоза

Целлюлоза – природный полимер, нерастворимый в воде. Сырьем для производства служит древесина различных пород деревьев, хлопок, также исследуются возможности получения целлюлозы из льна [11] и нетрадиционных источников, таких как абак, джут, сизаль, мискантус [20]. Чтобы использовать целлюлозу в качестве добавки к буровым растворам, ее модифицируют в КМЦ (карбоксиметилцеллюлозу). КМЦ – пример одного из полиэлектролитов. На рисунке 1 и 2 показан процесс модификации повторяющейся кольцевой структуры целлюлозы путем введения в нее анионной карбоксиметил-группы. После такой обработки модифицированный полимер становится растворимым благодаря анионной группе.

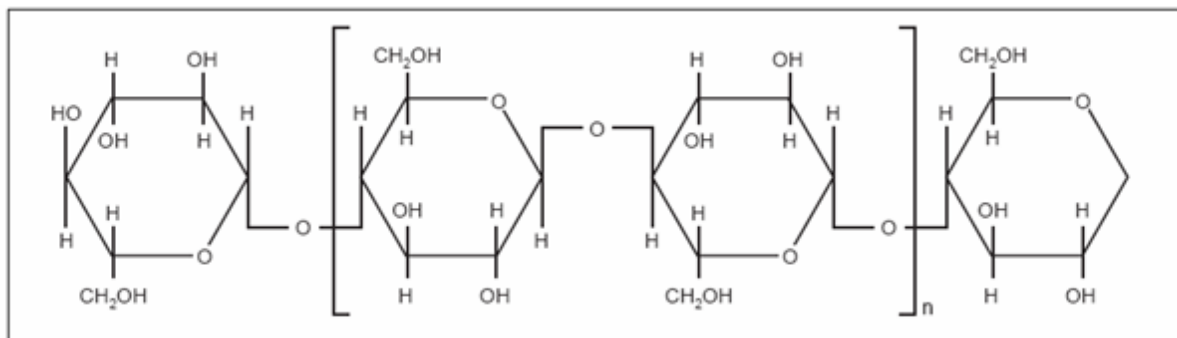


Рисунок 1 – Целлюлоза

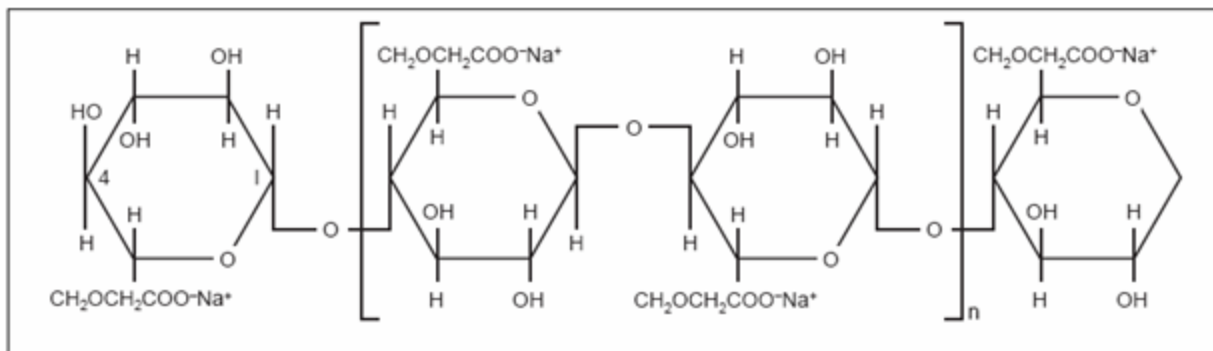


Рисунок 2 – Натриевая КМЦ со степенью замещения 1,0

Карбоксиметилцеллюлоза образуется при реакции натриевой соли монохлоруксусной кислоты ( $\text{ClCH}_2\text{COONa}$ ) с целлюлозой. Чаще всего при формировании растворимого полиэлектролита происходит замещение группы ( $-\text{CH}_2\text{OH}$ ).

Степень полимеризации отражает число повторов кольцевой структуры. Кольцевая структура является основной структурой полимера. Чем выше степень полимеризации, тем выше молекулярный вес.

Натриевая КМЦ обычно выпускается в трех основных модификациях, отличающихся такими свойствами как вязкость, способностью поддерживать взвесь и снижать водоотдачу – это высоковязкая КМЦ, низковязкая КМЦ или КМЦ средней вязкости. У высоковязкой КМЦ более высокий молекулярный вес, чем у низковязкой КМЦ, следовательно выше степень полимеризации КМЦ, поэтому выше вязкость и ниже фильтрация [6]. Интересно заметить, проведенные исследования в работе [15] показывают, что смешивание различных по вязкости эфиров целлюлозы позволяет получать композиции с требуемыми реологическими свойствами и показателем фильтрации.

Степень замещения отражает количество замещений в пределах одной повторяющейся кольцевой структуры. Степень замещения характеризует растворимость и устойчивость к солям жесткости [6], что подтверждено в работе [10]. На иллюстрации к натриевой КМЦ в каждой кольцевой структуре показано по одному замещению. Это означает, что степень замещения равна 1. В описанном выше примере замещались только

группы метил-гидроксила ( $-\text{CH}_2\text{OH}$ ). Замещаться могли бы и две гидроксил-группы ( $-\text{OH}$ ), что дало бы степень замещения 3. Полимеры становятся растворимы в воде при степени замещения 0,45. Степень замещения КМЦ обычно равна 0,7-0,8. Степень замещения высоковязкой КМЦ та же, что и у КМЦ с низкой и средней вязкостью; они отличаются только степенью полимеризации. КМЦ с относительно высокой степенью замещения часто называется полианионной целлюлозой (ПАЦ). У полианионной целлюлозы то же химическое строение и степень полимеризации, что и у КМЦ; отличает эти два полимера только степень замещения. Обычно степень замещения полианионной целлюлозы равна 0,9- 1,0. Полимеры с большей степенью замещения растворяются лучше, чем КМЦ. Также, несмотря на небольшие различия состава и структуры данных полимеров, ПАЦ НВ является более соле- и термостойким реагентом, что значительно расширяет диапазон его применения.

Свойства реагентов КМЦ и ПАЦ на 80% зависят от качества исходного сырья (в основном от степени полимеризации и содержания основного вещества – альфа целлюлозы) [11], степени и равномерности замещения, применения специальных добавок при их изготовлении (например, ингибиторов термоокислительной деструкции [21], солестойкости, бактерицидов) и чистоты конечного продукта.

Множество фирм-производителей как в России, так и за рубежом, производят реагенты КМЦ и ПАЦ, обладающих различными свойствами. В качестве понизителей фильтрации в современных рецептурах буровых растворов в основном применяются КМЦ НВ со степенью замещения около 85 и ПАЦ НВ с замещением более 90 и большим содержанием основного вещества по сравнению с КМЦ НВ [8, 9].

### 1.1.2 Карбоксиметилкрахмал

Крахмал – природный полимер, получаемый из самых разнообразных растений и зерновых культур; основной источник крахмала для буровых растворов – кукуруза и картофель. Крахмал состоит из двух полисахаридов: амилозы и амилопектина. Амилоза, представляющая собой цепочку кольцевых углеводов, служит остовом молекулы крахмала. Амилопектин – хорошо разветвленная цепь кольцевых углеводов, отходящих от остова – амилозы. Пропорция между амилозой и амилопектином определяет свойства крахмала (чем больше содержание амилозы, тем больше устойчивости к жесткости воды и больше термостабильности, сильнее загущается раствор).

Самый большой недостаток крахмалов – их подверженности брожению. Молекулярное строение крахмала и целлюлозы похожее, но основные элементы крахмала имеют некоторое различие. Кислородные связи между элементами крахмала в основном типа альфа, а целлюлозы – типа бета. Такое незначительное различие является причиной бактериальной деструкции крахмала и устойчивости к ферментации целлюлозы и их простых эфиров. Еще один недостаток крахмала – низкая термостабильность. Крахмал быстро портится при длительном воздействии температуры выше 102°C. В некоторых условиях биоразложение крахмала протекает более интенсивно. Наиболее сильное биоразложение наблюдается там, где при приготовлении раствора использовалась вода, содержащая большое количество микроорганизмов. Наихудший источник воды – это застойные пруды; однако загрязненной может считаться вода также из любых ручьев и рек. Размножение бактерий ускоряется при высокой температуре, нейтральном уровне pH и в условиях пресной воды. Активность бактерий в солевых растворах с высоким pH не так велика, однако время от времени все же имеет место.

Модификацию в карбоксиметил-крахмал, а также введение различных добавок при изготовлении, проводят с целью изменения его свойств (степень влияния на реологические, фильтрационные свойства бурового раствора, повышение термостабильности, стойкости к биодеструкции). Свойства КМК также зависят от свойств исходного сырья, что показано в работе [23].

Как и КМЦ, карбоксиметил-крахмал подвергается замещению гидроксиметил-групп у любой из двух гидроксил-групп кольцевой структуры. Как и у КМЦ, наиболее часто замещение происходит у гидроксиметил-группы (рисунок 3).

Разработаны технологии физического модифицирования крахмальных реагентов, в частности, экструзионного набухающего крахмала, описанные в работах [13,16].

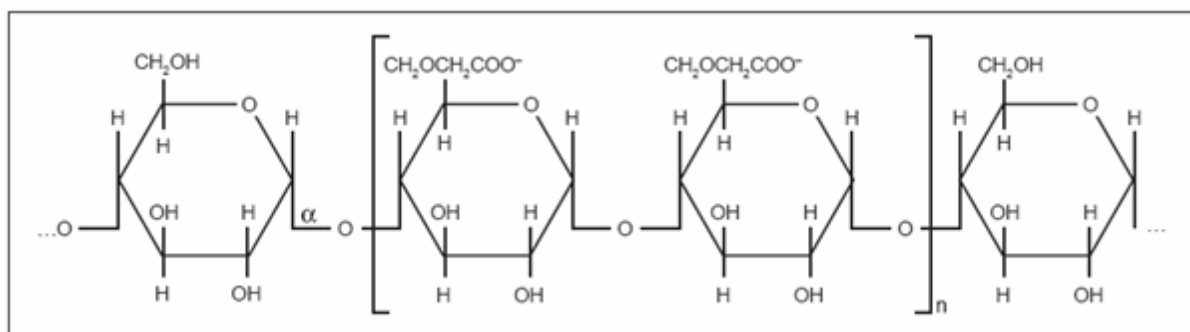


Рисунок 3 – КМК со степенью замещения 1,0

Понизители фильтрации на основе крахмала в настоящий момент применяются ограниченно, в основном для вскрытия продуктивных пластов, из-за свойств формируемой фильтрационной корки – она подвержена биодеструкции и/или воздействию кислот, что позволяет минимизировать влияние на фильтрационно-емкостные свойства коллектора. В остальных случаях производные крахмала как понизители вязкости применяются в составе солевых растворов, что снижает их биодegradацию.

## 1.2 Фильтрационные свойства буровых растворов

Процессы фильтрации играют одну из главных ролей для сохранения проницаемости пород продуктивного пласта, а также для предупреждения аварий и осложнений [6]. При репрессии на пласт твердая фаза бурового раствора проникает в околоствольную зону с образованием фильтрационной корки, через которую проходит фильтрат (рисунок 4).

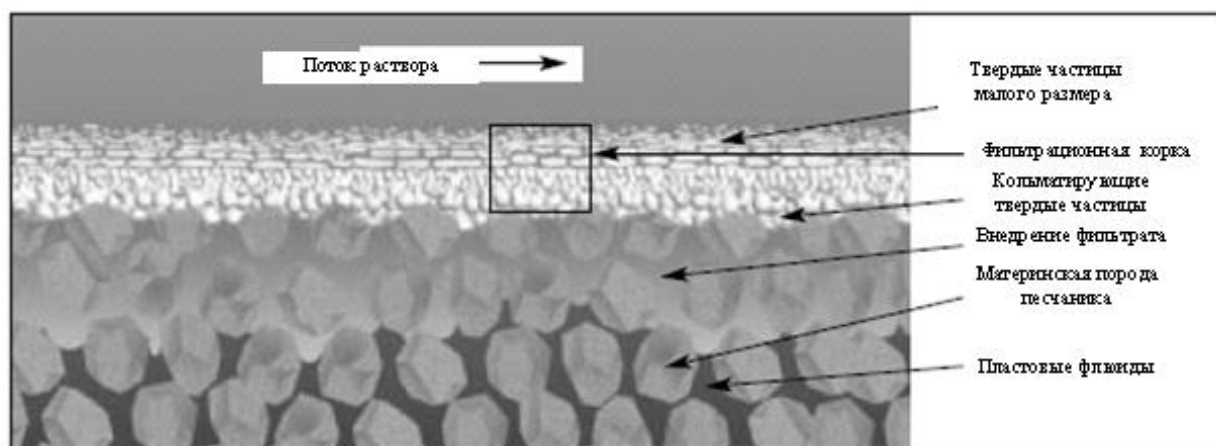


Рисунок 4 – Фильтрация

Фильтрационная корка, обладающая высокой проницаемостью, увеличивается в размерах, что снижает эффективный диаметр скважины и может привести к таким осложнениям, как чрезмерно высокий момент при вращении колонны, увеличение поршневания и свабиrowания при спуско-подъемных операциях и повышение гидравлического сопротивления (возможны осыпи и обвалы), увеличению вероятности дифференциального прихвата и затяжек колонны [7]. Также существуют потенциальные проблемы, связанные с избыточным внедрением фильтрата – ухудшение коллекторских свойств (образование нерастворимых соединений, изменения смачиваемости, изменения относительной проницаемости по нефти и газу, закупоривание пласта мельчайшими частицами твердой фазы или набухание глин на месте залегания); неверные результаты, полученные при испытаниях на фильтрацию; трудности при оценке параметров продуктивного пласта (избыточное внедрением фильтрата, слабая передача



электрических свойств через толстую фильтрационную корку); вероятность обнаружения нефтеносных и газоносных зон.

При бурении нефтяной скважины проявляются два вида фильтрации – статическая и динамическая. Динамическая фильтрация происходит в условиях циркуляции бурового раствора, тогда как статическая фильтрация протекает при других условиях – во время наращивания, СПО и при отсутствии циркуляции. Фильтрационные свойства буровых растворов обычно оцениваются и регулируются на основании испытания на фильтрационные потери по методике Американского Нефтяного Института (АНИ). Испытания по стандартам АНИ – на фильтрационные потери, происходящие при низком давлении и низкой температуре, высокотемпературную фильтрацию, протекающую при высоком давлении, а также замеры толщины фильтрационной корки – все эти испытания проводятся в статических условиях.

### **1.2.1 Теория фильтрации**

На начальной стадии воздействия раствора на проницаемую породу, когда твердые частицы откладываются, образуя на стенках ствола скважины низкопроницаемую фильтрационную корку, фильтрационные потери высоки, и мельчайшие частицы бурового раствора быстро проникают в породу. Этот вид фильтрации называется мгновенными потерями (мгновенной фильтрацией).

Статическая фильтрация протекает при статических условиях, т.е. в то время, когда раствор не циркулирует. Скорость фильтрации в данных условиях регулируется несколькими факторами. С помощью закона Дарси, классической модели потока жидкости, можно определить факторы, влияющие на фильтрацию (рисунок 5).

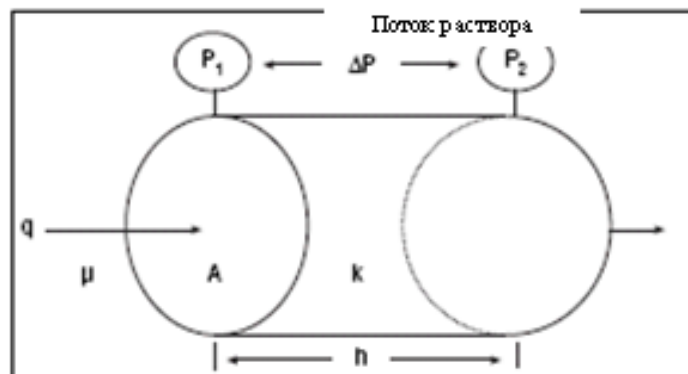


Рисунок 5 – Приток жидкости по закону Дарси

Закон Дарси может быть представлен в виде следующего уравнения:

$$q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta P}{\mu \cdot h}, \quad (1)$$

где  $q$  – скорость фильтрации, см<sup>3</sup>/сек;

$k$  – проницаемость, дарси;

$A$  – площадь поперечного сечения, см<sup>2</sup>;

$\Delta P$  – перепад давления, атм;

$\mu$  – вязкость фильтрата, сП;

$h$  – толщина фильтрационной корки, см.

Исходя из данного уравнения, фильтрационные потери будут низкими при низком значении проницаемости фильтрационной корки и низкой разности давления. Фильтрация будет снижаться при увеличении вязкости фильтрата и повышении толщины корки, если более толстая фильтрационная корка будет иметь такое же значение проницаемости.

Образующая в статических условиях толщина фильтрационной корки увеличивается с течением времени, но скорость формирования со временем снижается. Как было сказано выше, фильтрационная корка большой толщины может стать причиной осложнений и аварий при строительстве скважины. По этой причине регулирование статической фильтрации есть первоочередная задача. Желательно, чтобы значение этой величины поддерживалось на как можно более низком уровне.

Динамическая фильтрация отлична от фильтрации, которая имеет место в статических условиях, и ее скорость, обычно, значительно превосходит скорость статической фильтрации. Фильтрационные корки, образующиеся в динамических и статических условиях, отличаются тем, что первые оказываются тоньше и прочнее. Прямая корреляционная зависимость между фильтрационными потерями в статических условиях, которая определяется по методике АНИ и значениями высокотемпературной фильтрации под высоким давлением (НТНР) в статических и динамических условиях, отсутствует. Как показывает опыт, буровой раствор, который обладает хорошими фильтрационными свойствами и устойчивостью при статической фильтрации, будет эффективен и в условиях динамической фильтрации в скважине.

### **1.2.2 Влияние различных факторов на фильтрационные свойства буровых растворов на водной основе, содержащих КМК и ПАЦ**

Для регулирования фильтрационных свойств бурового раствора его обрабатывают полимерными реагентами – понизителями фильтрации. Снижение водоотдачи при их применении достигается за счет:

- перекрывания отверстия в фильтрационной корке частицами полимера;
- инкапсулирования твердой частицы, создавая более крупную, поддающуюся деформации оболочку или пленку, которая снижает проницаемость фильтрационной корки;
- загущения жидкой фазы бурового раствора.

Эффективность понизителей фильтрации, как полиэлектролитов, зависит от количества зарядов в полимерной цепочке. В свою очередь, количество зарядов зависит от следующих факторов:

- концентрации полимера;
- концентрации и распределение ионизируемых групп;

- содержания солей и жесткость воды;
- pH жидкости.

Если количество зарядов достаточно велико, полимер стремится развернуть цепочку вследствие взаимного отталкивания. В результате полимер полностью разворачивается, а расстояния между одноименными зарядами максимально увеличиваются. При разворачивании полимер открывает наружу максимальное число зарядов, что позволяет ему связывать частицы глины и загущать жидкую фазу раствора.

### ***Влияние концентрации полимера***

Полимеры при растворении в водной фазе бурового раствора находятся в развернутом состоянии, при этом имеют вид не стержня, а завитка, что позволяет удалить одинаковые заряды полимера на максимальное расстояние. При малых концентрациях полимер формирует вокруг себя оболочку из 3-4 молекул воды в толщину. Между оболочками действует сила электростатического отталкивания, площадь поверхности оболочек увеличивается при разворачивании полимера. Величина площади поверхности водяной оболочки способствует влиянию полимера на вязкость раствора. При повышении концентрации полимера оболочка вокруг него уменьшается. По мере того, как все большее количество полимера стремится получить водяную оболочку из меньшего количества воды, растет вязкость раствора. Это происходит, когда полимеры переплетаются друг с другом в условиях ограниченного количества свободной воды.

Влияние концентрации полимера на увеличение вязкости подтверждаются по анализам опытных данных в многочисленных исследованиях, например, в [10] с ростом концентрации КМЦ и ПАЦ в минерализованных, полимер-глинистых и минерализованных полимер-глинистых растворах вязкость возрастает вследствие возрастания межмолекулярного взаимодействия полимерных цепей, что закономерно снижает фильтрацию бурового раствора. В работе [17, 26] также подтверждается увеличение вязкости и снижение фильтрации при

увеличении концентрации КМК в соленасыщенном полимер-глинистом и биополимерных растворах.

### ***Влияние pH***

Растворимость полимеров зависит от уровня pH, который зачастую определяет степень ионизации функциональных групп, расположенных вдоль полимерной цепочки. Ионизированная карбоксил-группа – это характерная особенность большинства анионных полимеров, среди которых – КМЦ, КМК.

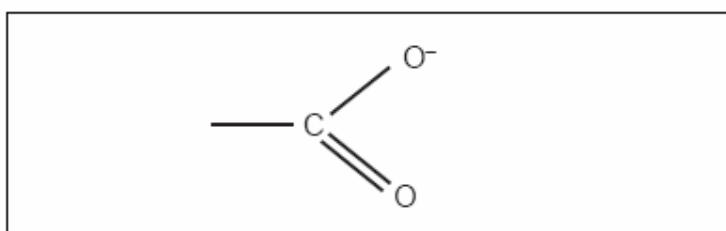


Рисунок 6 – Ионизированная карбоксил-группа

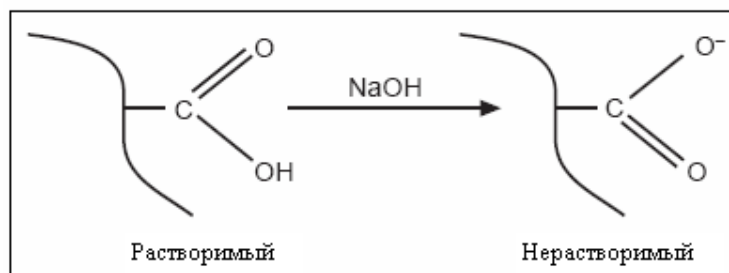


Рисунок 7 – Растворимость полимера

Как показано на рисунке 6, ионизированная карбоксил-группа имеет у конечного атома углерода один атом кислорода с двойной связью и один – с одинарной. Ионизация происходит при реакции между карбоксил-группой и щелочным материалом, например, каустической содой. Полимер становится растворимым при ионизации прежде нерастворимой карбоксил-группы (рисунок 7). Натриевая карбоксил-группа притягивает воду за счет электрических зарядов, расположенных вдоль полимерной цепочки. При добавлении полимера в воду из полимерной цепочки освобождается ион натрия, оставляя после себя отрицательный заряд. Полимер стал анионным,

он способен к гидратации. По мере гидратации полимера растет водяная оболочка вокруг него и увеличивается вязкость.

Карбоксил-группы имеют наибольшую растворимость при рН от 8,5 до 9,5. Если уровень рН окажется в области кислот (менее 7), карбоксилат-группа возвратится в свой исходный вид – карбоксил – и полимер потеряет растворимость. При рН=11 и более КМЦ свертывается от избытка щелочи и выпадает в осадок [6], однако в работе [27] указывается, что КМЦ при значениях рН = 13 полностью остается в растворенном состоянии. Потеря растворимости полимера приведет к снижению вязкости, повышению фильтрации. Также при нейтральном уровне рН ускоряется размножение бактерий, при биоразложении снижается концентрация полимера и, следовательно, снижается вязкость и повышается фильтрация.

#### ***Влияние содержания соли и бивалентных катионов в растворе***

Очень значимую роль при определении эффективности полимера играет соленость бурового раствора. Соль ограничивает разворачивание и расширение полимеров, вместо этого они приобретают компактную шарообразную форму, при этом уменьшается растворимость полимера. Данное явление является результатом «борьбы» молекул-полимеров за воду, так как соль снижает количество свободной воды, необходимой для гидратирования и расширения полимера. После добавления соли в пресный буровой раствор с полностью раскрытыми полимерами происходит скачкообразный рост вязкости. Соль, растворяясь, забирает воду у полимеров, поэтому раствор непродолжительное время потеряет стабильность и произойдет рост вязкости. Полимеры начинают переплетаться с частицами шлама и другими полимерами, при этом они становятся меньше и снова приобретают начальную шарообразную форму и происходит значительное снижение вязкости. Эффективность полимеров соленых условиях снижена, однако данный недостаток устраняется увеличением концентрации полимера. Например, для применения ПАЦ в

условиях большого содержания солей концентрацию этих полимеров необходимо увеличить вдвое.

Бивалентные ионы, такие как кальций и магний, оказывают огромное влияние на параметры бурового раствора. Как и ион натрия, который тоже гидратирует и снижает количество доступной свободной воды, ионы кальция и магния гидратируют еще более интенсивно. При этом снижается степень гидратации полимеров.

В работе [10] проведены исследования солестойкости реагентов на основе КМЦ и ПАЦ. Установлено, что КМЦ может быть эффективно использован в минерализованных растворах, содержащих соли Са и Mg в концентрации 0,5%, в то время как ПАЦ – 1-1,5%, при этом с добавлением солей Са и Mg вязкость водных растворов КМЦ и ПАЦ снижается. Превосходство ПАЦ по сравнению с КМЦ в устойчивости к агрессии солей одно- и двухвалентных металлов в пресном, соленасыщенном и высокоминерализованном растворах также подтверждено в работе [12].

Согласно [18] КМК, КМЦ отнесены к солестойким реагентам, устойчивым к более 10% NaCl по содержанию в растворах.

### ***Температура***

С повышением температур реологические и фильтрационные свойства буровых растворов претерпевают значительные изменения. Пластическая вязкость снижается по причине снижения вязкости дисперсионной среды, уменьшения степени гидратации, интенсификации броуновского движения и др, увеличивается фильтрация жидкой фазы. Это можно увидеть из опытных данных в работе с биополимерным раствором, содержащем КМЦ [22] и КМК [24] – при повышении температуры и давления снижаются реологические свойства раствора и увеличивается фильтрация.

К этому также приводит ухудшение свойств понизителей фильтрации в следствие их термодеструкции. После длительного выдерживания при высоких температуре и давлении буровые растворы, как

правило, свои показатели не восстанавливают. Температурный предел устойчивости для крахмала, эфиров целлюлозы со степенью полимеризации 300 – 130°C; для эфиров целлюлозы с полимеризацией 500 и более – 160°C; для эфиров целлюлозы со степенью полимеризации 500 и более и антиокислителями – 190 °C [18].

Также ускоряется размножение бактерий с повышением температуры.

### ***Влияние микроорганизмов, кислот***

Основными преимуществами полисахаридов, по сравнению с другими классами химических реагентов (акриловыми, лигносульфонатными) для буровых растворов являются их минимальное воздействие на коллекторские свойства продуктивного пласта за счет легкой и полной деструкции при кислотных ОПЗ или биологической деструкции. Однако это преимущество является и одним из существенных недостатков. При биодеструкции раствора одновременно ухудшаются показатели реологических свойств и значения фильтрации. Для снижения восприимчивости раствора к биодеструкции дополнительно применяются бактерициды [19].

Согласно результатам экспериментальных исследований [12], ПАЦ по сравнению с КМЦ обладает повышенной стойкостью к биоразложению в пресном, соленасыщенном и высокоминерализованном растворах. Также биостойкость различных целлюлозосодержащих реагентов исследовалась в работе [25]. КМК более подвержен бактериальной деструкции, чем КМЦ и ПАЦ, из-за альфа кислородных связей между элементами крахмала.

## **1.3 Вывод по литературному обзору**

Резюмируя приведенный обзор можно сделать следующие выводы:

1. В настоящее время значимую часть применяемых буровых растворов составляют полимер-глинистые и биополимерные растворы, где



для регулирования фильтрационных свойств применяются полисахаридные модифицированные реагенты на основе крахмала и целлюлозы.

2. Свойства реагентов КМК и КМЦ (солестойкость и термостойкость, стойкость к биодеструкции, растворимость) зависят от качества исходного сырья, степени и равномерности замещения, применения специальных добавок при их изготовлении и чистоты конечного продукта. Термо- и биостойкость КМК ниже чем у КМЦ и ПАЦ (при этом эти свойства ПАЦ превосходят свойства КМЦ); КМК и КМЦ являются солестойкими реагентами.

3. Чем большую проницаемость имеет фильтрационная корка, тем выше фильтрация и ее толщина. Необходимо поддерживать фильтрацию и проницаемость корки на как можно более низком уровне, для избежания загрязнения пластов, аварий и осложнений в процессе строительства скважин. Для этих целей применяются понизители фильтрации КМК и КМЦ. Снижение водоотдачи при их применении достигается за счет перекрывания отверстия в фильтрационной корке увеличенными деформируемыми инкапсулированными твердыми частицами и частицами полимера; загущением жидкой фазы бурового раствора. На эффективность КМК и КМЦ в растворах влияет концентрация полимера, уровень pH, содержание солей, микроорганизмов, температура.

Поставленной проблемой является необходимость снижения стоимости используемых в буровых растворах полисахаридных реагентов. Для решения этой задачи необходимо исследовать возможности применения карбоксиметилкрахмала (КМК) в современных рецептурах буровых растворов в качестве понизителя фильтрации и как альтернативы более дорогим реагентам на основе карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ и ПАЦ). Изучение различных литературных источников позволяет сделать вывод, что полноценных исследований, подтверждающих эффективность и возможность замены ПАЦ и КМЦ, на КМК проведено не было. В

соответствии с целью работы, а также с учетом вопросов, возникших при проведении обзора, определены основные исследовательские задачи:

1. Для определения области применения КМК и КМЦ оценить устойчивость данных реагентов к воздействию солей, температур и биологической деструкции в полимер-глинистом пресном, полимер-глинистом минерализованном, биополимерном безглинистом хлоркалийевом растворах посредством измерения фильтрационных и реологических свойств буровых растворов после соответствующих воздействий.

2. Сделать выводы об эффективности реагентов и возможности замены КМЦ на КМК.

## **2 Методы исследований**

Для определения возможности замены реагентов на основе ПАЦ на КМК, необходимо определить и сравнить их эффективность в пресных и минерализованных моделях буровых растворов, устойчивость к действию температур, биоразложению. Эффективность оценивается через определение фильтрационных и реологических свойств. Методами исследований являются инструментальные методы определения параметров буровых растворов по ГОСТ 33213-2014 и РД 39-00147001-773-2004 (фильтрационные и реологические свойства).

### **2.1 Методика проведения исследований**

В качестве исследуемых реагентов применяются полианионная целлюлоза Polypac ELV и карбоксиметилкрахмал Thermpac UL, компании M-I Swaco (Schlumberger). Polypac ELV, как заявляет производитель, не подвержен биологическому разложению и хорошо действует при щелочном pH как в пресных так и в минерализованных растворах, низковязкий, термодеструкция наступает при температуре выше 135 °C. Thermpac UL – минимально влияющий на вязкость КМК, альтернатива ПАЦ в растворах, требующих хороший контроль над водоотдачей при низких реологических параметрах, термостабильность до 149 °C, не нужен бактерицид, наиболее эффективен в растворах с содержанием Cl<sup>-</sup> до 20 000 мг/л и Ca<sup>2+</sup> до 800 мг/л, при любом уровне pH.

Рецептуры исследуемых буровых растворов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Модельные системы буровых растворов

Наименование модельного бурового раствора	Наименование компонента	Содержание, % мас.
Полимер-глинистый	Каустическая сода	0,05
	ПБМБ (пр-во Хакасский бентонит)	5,00
	Исследуемый полисахаридный реагент	1,00
Минерализованный полимер-глинистый	Каустическая сода	0,05
	ПБМБ (пр-во Хакасский бентонит)	7,00
	Хлорид натрия	31,10
	Исследуемый полисахаридный реагент	1,00
Биополимерный	Каустическая сода	0,05
	Ксантановая смола Sabohan (пр-во Спринг)	0,30
	Хлорид калия	8,00
	Мраморная крошка МК-4	5,00
	Исследуемый полисахаридный реагент	1,00

После приготовления моделей буровых растворов уровень pH доводится до 10 вводом 40% раствора NaOH и выдерживаются 16 часов в закрытых сосудах. После выдержки pH доводится до 10, и проводятся испытания согласно стандартным методикам.

### 2.1.1 Определение фильтрационных свойств

1. Определение фильтрационных свойств моделей буровых растворов в зависимости от концентраций исследуемых полимеров.

Применяется стандартный фильтр-пресс низкого давления и низкой температуры. Замеры производятся при концентрациях полимеров (в % мас.): 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2. Уровень pH после каждого увеличения концентрации полимера доводится до 10.

2. Определение фильтрационных свойств исследуемых буровых растворов в условиях, приближенных к пластовым.

Для этих целей применяется тампонирующий аппарат для измерения проницаемости (Permeability Plugging Tester, P.P.T). В качестве фильтрующего материала применяются керамические диски проницаемостью 0,8 и 10 дарси (диаметр пор 5 и 35 мкм, соответственно). Исследования проводятся при дифференциальном давлении 3,5 и 0,7 мПа и

температурах 90 и 140 °С, за период времени от 2,5 до 30 мин с шагом 2,5 мин. Концентрации понизителей фильтрации – 1 %.

### **2.1.2 Определение реологических свойств**

Для исследуемых буровых растворов с концентрацией понизителя фильтрации 1% определяются следующие реологические свойства: пластическая вязкость (PV), динамическое напряжение сдвига (YP), СНС 10 с/10мин. Для определения данных параметров применяется ротационный вискозиметр. Условная вязкость измеряется воронкой ВБР-2.

### **2.1.3 Исследование бактерицидной стойкости понизителей фильтрации**

Для оценки биостойкости понизителей фильтрации проводятся исследования стабильности фильтрационных и вязкостных свойств полимер-глинистого раствора с концентрацией понизителя фильтрации 1 %. Для заражения растворов патогенными микроорганизмами используется ввод шлама, богатого различными микроорганизмами, отобранного на месторождениях Томской области. Измерение структурно-реологических и фильтрационных свойств буровых растворов проводится в течение месяца: после приготовления (0 сут); 3 сут; 7 сут; 14 сут; 28 сут выдержки. Фильтрационные свойства измеряются стандартным фильтр-прессом низкого давления и низкой температуры, реологические свойства – воронкой ВБР-2 и ротационным вискозиметром.

## 2.2 Оборудование для приготовления моделей буровых растворов

Для приготовления и перемешивания растворов применяется верхнеприводная мешалка Heidolph RZR 2051 (рисунок 8).



Рисунок 8 – Верхнеприводная мешалка Heidolph RZR 2051

Для определения точной массы добавляемых реагентов при приготовлении растворов применяются электронные лабораторные весы (рисунок 9).



Рисунок 9 – электронные весы Massa-K BK-600.1

При приготовлении растворов требуется поддерживать определенный уровень pH и для его измерения применяется pH-метр pH-150МИ (рисунок 10), также им можно мерить температуру раствора.

Прибор представляет собой комплект из преобразователя, блока сетевого питания, термодатчика и комбинированного электрода.

Измерение рН проводится путем погружения термодатчика и электрода в раствор на глубину не менее 30 мм. Перед погружением электрод и термодатчик должны быть промыты и высушены.

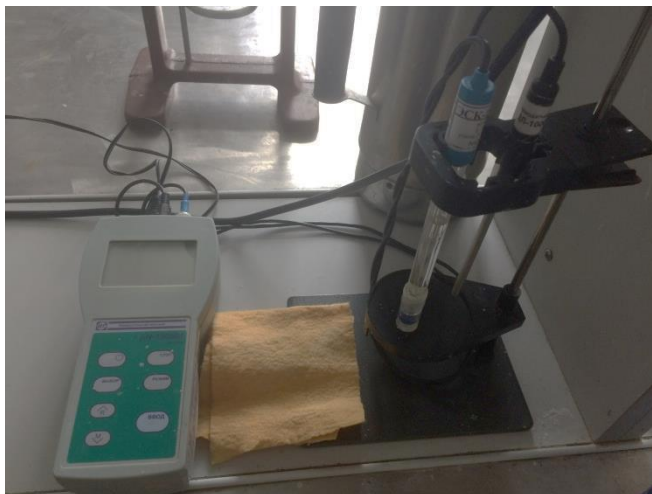


Рисунок 10 – рН-метр рН-150МИ

## **2.3 Определение реологических свойств буровых растворов**

### **2.3.1 Определение условной вязкости с помощью вискозиметра ВБР-2**

Вискозимтер ВБР-2, изображенный на рисунке 11, обладает следующими параметрами: постоянная вискозиметра (время истечения 500 см<sup>3</sup> дистиллированной воды) при температуре (20±5) °С – 15 с. Абсолютная погрешность постоянной вискозиметра – ± 0.5 с. Диаметр отверстия трубки вискозиметра – 5 мм. Длина трубки вискозиметра – 100 мм. Вместимость при температуре 20 °С воронки вискозиметра – 700 см<sup>3</sup>, кружки мерной – 500 см<sup>3</sup>.



Рисунок 11 – Вискозиметр ВБР-2

Методика определения условной вязкости:

закрывать отверстие трубки пальцем одной руки и налить  $700 \text{ см}^3$  раствор в воронку;

- убрать палец от отверстия и замерить время истечения  $500 \text{ см}^3$  (мерная кружка);

- значение условной вязкости рассчитать как среднеарифметическое из трех последовательных измерений, отличие между которыми не должно быть более 3,33%.

После каждого использования вискозиметр промыть водой.

Калибровка воронки ВБР-2 осуществляется по времени истечения чистой пресной воды ( $15 \pm 0,5$ ) с при  $21^\circ \text{C}$ .

### **2.3.2 Измерение реологических свойств вискозиметром OFITE-900**

Вискозиметр OFITE-900 (рисунок 12) – это ротационный вискозиметр, являющийся портативным и автоматизированным прибором, предназначен для определения реологических свойств буровых и тампонажных растворов, а также жидкостей для гидроразрыва пласта.





Рисунок 12 – Вискозиметр OFITE-900

Принцип действия основан на измерении угла закручивания торсионной пружины. Закручивание обуславливается возникновением крутящего момента на внутреннем цилиндре, который появляется в результате вращения внешнего в исследуемом растворе. Прибор функционирует под управлением программного обеспечения, находящегося в памяти измерительного блока, которое осуществляет сбор, передачу, обработку, и представление измерительной информации.

Методика измерения:

- убедиться в установке ротор-боба R1B2 и внешнего цилиндра, включить прибор;
- нажатием кнопки «Enter» выставляется прибор на «ноль»;
- налить буровой раствор в стакан до отметки;
- установить стакан в нагреватель;
- нагреватель установить в пазы подставки, поднять подставку таким образом, чтобы буровой раствор сравнялся с отметкой на внешнем цилиндре и закрепить ее;
- нажатием кнопки «Mud» прибор начнет измерение, через 14 мин списать показания пластической вязкости (PV), динамического напряжения сдвига (YP), значения СНС 10 сек/10 мин, температуру бурового раствора;

- при 12 фиксированных скоростях, посредством нажатия соответствующих кнопок, снять показания напряжений сдвига;
- выключить прибор, снять и промыть внешний цилиндр, ротор-боб, протереть термопару, затем снова собрать для проведения последующих измерений.

## **2.4 Определение фильтрационных свойств буровых растворов**

### **2.4.1 Определение фильтрационных свойств с помощью фильтр-пресса низкого давления и температуры OFITE**

Фильтр пресс низкого давления OFITE (рисунок 13) состоит из ячейки для бурового раствора, узла создания давления, нижней крышки, сита для размещения фильтровальной бумаги, уплотнительных колец.



Рисунок 13 – Фильтр-пресс низкого давления и температуры OFITE

Методика проведения испытания:

- убедиться, что каждая часть ячейки, особенно сетка, чистая и сухая и что уплотнительные кольца не имеют повреждений;
- собрать нижнюю часть ячейки с установкой уплотнительных колец, сетки и фильтровальной бумаги;
- налить пробу бурового раствора в ячейку не доходя до края 1-1,5 см;

- накрыть ячейку крышкой с узлом создания давления, установить в подставку, закрепить;
- поместить сухой градуированный цилиндр под дренажную трубку для сбора фильтрата;
- закрыть клапан сброса давления в ячейке, установить регулятор на значение давления 100 фунтов/дюйм<sup>2</sup> (0,7 МПа), сразу включить секундомер;
- измерить объем фильтрата через 7,5 и 30 минут;
- сбросить давление, снять ячейку со штатива и разобрать, аккуратно вынув фильтровальную бумагу;
- промыть фильтрационную корку под слабой струей воды, затем измерить ее толщину.

#### 2.4.2 Определение фильтрационных свойств буровых растворов в условиях приближенных к пластовым

Фильтрационные свойства в условиях, приближенных к пластовым, испытывается с помощью тампонирующего аппарата для измерения проницаемости Permeability Plugging Tester, P.P.T (OFI Testing Equipment), схема устройства показана на рисунке 14.



Рисунок 14 –Тестер проницаемости тампонирующих материалов OFITE

Перед началом теста:

1. Подсоединить нагревательный контур к сети, установить температуру термостата примерно на половину шкалы для начала нагревания и поместить металлический термометр в карман для термометра.

2. Сигнальная лампочка включится, когда в нагревательном контуре установится заданная термостату температура. Показание температуры должно быть на 10 °С выше требуемой температуры теста.

3. Перед использованием керамический диск вымачивается в течение 10 минут в буровом растворе.

Загрузка фильтровальной ячейки:

1. Открыть ячейку и осмотреть все уплотнительные кольца, заменить изношенные. Нанести силиконовую смазку вокруг уплотнительных колец (на поршне, штоках клапанов и головках ячейки).

2. Установить ячейку в вертикальное положение с направленным вверх входом. Вставить уплотнительные кольца в паз ячейки и на головку ячейки. Ввинтить входную головку ячейки в корпус.

3. Нажать на красную кнопку, расположенную под контрольным щитком термостата на нагревательной рубашке. Перевернуть ячейку и поместить ее в нагревательную рубашку так, чтобы входная головка была направлена вниз, и начать предварительный прогрев ячейки.

4. Установить поршень с помощью Т-образного ключа так, чтобы он находился в контакте с входной головкой ячейки.

5. Установить и затянуть шток впускного клапана с патрубком быстрого гидравлического соединения. Повернуть шток впускного клапана по часовой стрелке на 180 град. Соединить шланг подачи давления от гидравлического насоса с шариковым клапаном и фитингом быстрого соединения к блоку штока впускного клапана. Вытянуть на 1 см ручку сброса давления на гидравлическом насосе и повернуть ее по часовой стрелке для закрытия клапана сброса давления. Сделать от 6 до 8 нажимов на насос и добавить гидравлической жидкости во вход ячейки (столько,

чтобы ручка Т-образного ключа передвинулась вверх на 3,8 см). Закрывать клапан в блоке впускного клапана и удалить Т-образный ключ из ячейки.

6. Налить в ячейку 320 мл бурового раствора (перед началом теста буровой раствор перемешивать 10 мин). Установить уплотнительное кольцо в паз ячейки и подготовленный керамический диск поверх кольца.

7. Установить концевую головку.

8. Используя 3-мл шприц с иглой, заполнить выпускной клапан жидкостью (водой или маслом), что повысит точность теста.

9. Установить и затянуть узел штока выпускного клапана с шариковым клапаном на выходной головке ячейки поверх самой ячейки. Удерживать блок выпускного клапана одной рукой, а другой полностью вытянуть ручку «стоп» на нагревательной рубашке для полного опускания ячейки. Поворачивать ячейку, пока она не зафиксируется на центровочном пальце нагревательной рубашки.

10. Закрывать клапан, установить термометр в отверстие в верхней части ячейки. Поместить блок противодействия поверх блока клапана и зафиксировать стопорной шпилькой. Выпускной клапан должен быть в закрытом положении.

11. Установить баллон давления  $\text{CO}_2$  на шток клапана, соединенного с приемником противодействия, убедиться, что стопорная шпилька вставлена полностью. Создать противодействие 0,7 МПа (для температур 90 и 140 °C).

12. Пока ячейка нагревается открыть впускной клапан на 1/4 оборота на гидравлическом коллекторе и установить такое же давление внутри ячейки. Поддерживать давление на буровой раствор до достижения желаемой температуры при помощи клапана сброса давления насоса. Время нагревания не должно превышать 1 час.

Порядок испытания:

1. По достижению требуемой температуры закрыть клапан на насосе и открыть клапан на выходной стороне ячейки. С помощью насоса

увеличить давление для начала фильтрации, поддерживать требуемое дифференциальное давление (давление в ячейке за вычетом величины противодействия).

2. Включить секундомер, измерить фильтрацию за период времени от 0 до 30 мин с шагом 2,5 мин.

3. После 30 мин закрыть выпускной клапан. Сбросить давление на насосе.

4. Закрыть впускной клапан, отсоединить насос от ячейки. Извлечь ячейку и остудить в холодной воде, сбросить давление.

5. Разобрать ячейку, вытащить керамический диск и слегка промыть фильтрационную корку, измерить.

6. Почистить и просушить весь прибор.

### **3 Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение**

Из-за научной новизны информация в разделе не указывается

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью магистерской диссертации является исследование возможности применения карбоксиметилкрахмала (КМК) в современных рецептурах буровых растворов в качестве понизителя фильтрации и альтернативы более дорогостоящим реагентам на основе низковязкой полианионной целлюлозы (ПАЦ НВ). Для решения поставленной проблемы применяются аналитические методы и инструментальные средства исследования. Аналитические – проведение литературного обзора в рассматриваемой области, инструментальные – проведение экспериментальных исследований в лабораторных условиях. Исследования выполняются при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в целях реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы».

В данной главе проведено планирование научно-исследовательских работ и приведен SWOT-анализ для выявления возможностей и угроз при реализации проекта.

### **4.1 SWOT-анализ**

Первым этапом SWOT-анализа является поиск сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта и выявление возможностей и угроз для его реализации, которые могут появиться или уже появились в его внешней среде.

Полученные результаты SWOT-анализа первого этапа представлены в таблице 3.



Таблица 3 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны:</b></p> <p>С1. Финансирование из бюджета;</p> <p>С2. Не требуется закупка материалов и оборудования;</p> <p>С3. Применение специализированного оборудования (тестер проницаемости OFITE, ротационный вискозиметр OFITE-900, рычажные весы OFITE, фильтр-пресс OFITE), верхнеприводная мешалка ES-8300D, лабораторный pH-метр pH-150MI.</p> <p>С4. Применение высококачественных материалов и реагентов;</p> <p>С5. Персонал с высокой квалификацией.</p>	<p><b>Слабые стороны:</b></p> <p>Сл1. Использование полисахаридных реагентов одного производителя (по типу реагента);</p> <p>Сл2. Отсутствие возможности исследования КМК с высокой степенью замещения;</p> <p>Сл3. Возможные неточности вследствие многократного использования порций раствора.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;</p> <p>В2. Сотрудничество с предприятием-изготовителем реагентов для буровых растворов;</p> <p>В3. Возникновение дополнительного спроса на исследование;</p> <p>В4. Получение гранта для продолжения исследований;</p> <p>В5. Удорожание схожих конкурентных исследований.</p>		
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие интереса к результатам исследования;</p> <p>У2. Развитие конкуренции (создание новых реагентов и/или рецептур буровых растворов)</p> <p>У3. Снижение бюджета на исследование;</p> <p>У4. Неточность получаемых данных.</p>		

На втором этапе SWOT-анализа выявляется соответствие сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это поможет выявить необходимость проведения стратегических изменений.

Составленные интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 4, 5, 6, 7.

Таблица 4 – Интерактивная матрица «возможности-сильные стороны»

Сильные стороны научно-исследовательского проекта						
Возможности		Сил 1	Сил 2	Сил 3	Сил 4	Сил 5
	Возм 1	-	-	-	-	+
	Возм 2	-	-	+	+	+
	Возм 3	-	-	-	-	-
	Возм 4	-	-	+	+	+
	Возм 5	+	+	-	-	-

В результате анализа интерактивной таблицы «возможности-сильные стороны» выделяются коррелирующие позиции: В1С5, В2С3С4С5, В3С3С4С5, В4С3С4С5, В5С1С2.

Таблица 5 – Интерактивная матрица «возможности-слабые стороны»

Слабые стороны научно-исследовательского проекта				
Возможности		Слаб 1	Слаб 2	Слаб 3
	Возм 1	-	-	-
	Возм 2	-	-	-
	Возм 3	+	+	-
	Возм 4	-	+	-
	Возм 5	-	-	-

Анализируя интерактивную таблицу «возможности-слабые стороны» выделяются следующие коррелирующие позиции научно-исследовательского проекта: В3Сл2, В4Сл2.

Таблица 6 – Интерактивная матрица «угрозы-сильные стороны»

Сильные стороны научно-исследовательского проекта						
Угрозы		Сил 1	Сил 2	Сил 3	Сил 4	Сил 5
	Угр1	-	-	-	-	-
	Угр 2	-	-	-	-	-
	Угр 3	-	+	-	-	-
	Угр 4	-	-	+	-	-

Результатами анализа матрицы «угрозы-сильные стороны» является выделение следующих сильно коррелирующих угроз и сильных сторон: У2С5, У3С2, У4С3.

Таблица 7 – Интерактивная матрица «угрозы-слабые стороны»

Слабые стороны научно-исследовательского проекта				
Угрозы		Слаб 1	Слаб 2	Слаб 3
	Угр 1	+	+	-
	Угр 2	+	+	-
	Угр 3	-	-	-
	Угр 4	-	-	+

В результате анализа интерактивной таблицы «угрозы-слабые стороны» можно выделить следующие соответствия: У1Сл1Сл2, У2Сл1Сл2, У4Сл3.

На третьем этапе анализа составляется итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 8).

Таблица 8 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны:</b></p> <p>С1. Финансирование из бюджета;</p> <p>С2. Не требуется закупка материалов и оборудования;</p> <p>С3. Применение специализированного оборудования (тестер проницаемости OFITE, ротационный вискозиметр OFITE-900, рычажные весы OFITE, фильтр-пресс OFITE), верхнеприводная мешалка ES-8300D, лабораторный pH-метр pH-150МИ.</p> <p>С4. Применение высококачественных материалов и реагентов;</p> <p>С5. Персонал с высокой квалификацией.</p>	<p><b>Слабые стороны:</b></p> <p>Сл1. Использование полисахаридных реагентов одного производителя (по типу реагента);</p> <p>Сл2. Отсутствие возможности исследования КМК с высокой степенью замещения;</p> <p>Сл3. Возможные неточности вследствие многократного использования порций раствора.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;</p> <p>В2. Сотрудничество с предприятием-изготовителем реагентов для буровых растворов;</p> <p>В3. Возникновение дополнительного спроса на исследование;</p> <p>В4. Получение гранта для продолжения исследований;</p> <p>В5. Удорожание схожих конкурентных исследований.</p>	<p>Выявленные соответствия из интерактивной матрицы «возможности-сильные стороны»:</p> <p>В1С5 – для исследования проекта применяются лаборатории ТПУ, допуск к которым имеет квалифицированный персонал;</p> <p>В2С3С4С5 – исследования, проводимые квалифицированным персоналом с применением специализированного оборудования и высококачественных материалов и реагентов, возможно, будут востребованы предприятием-изготовителем реагентов.</p> <p>В4С3С4С5 – получение гранта связано с актуальностью решаемой проблемы при участии квалифицированного персонала, наличием оборудования и материалов для работы.</p> <p>В5С1С2 – удорожание исследований конкурентов, вследствие финансирования исследований из бюджета и отсутствия необходимости закупки материалов и оборудования.</p>	<p>Выявленные соответствия из интерактивной матрицы «возможности-слабые стороны»:</p> <p>В3Сл1Сл2 – возможно появление дополнительного спроса на исследование в случае возможности исследования КМК с высокой степенью замещения или использования реагентов различных производителей;</p> <p>В4Сл2 – в случае возможности исследования КМК с высокой степенью замещения возможно получение гранта для дальнейшего развития проекта.</p>

Продолжение таблицы 8

<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие интереса к результатам исследования;</p> <p>У2. Развитие конкуренции (создание новых реагентов и/или рецептур буровых растворов)</p> <p>У3. Снижение бюджета на исследование;</p> <p>У4. Неточность получаемых данных.</p>	<p>Выявленные соответствия из интерактивной матрицы «угрозы-сильные стороны»:</p> <p>У3С2 – при снижении бюджета на исследование возможно потребуется закупка материалов;</p> <p>У4С3 – возможны ошибки в получаемых данных из-за неисправности применяемого оборудования.</p>	<p>Выявленные соответствия из интерактивной матрицы «угрозы-слабые стороны»:</p> <p>У1Сл1Сл2 – возможно отсутствие спроса на данное исследование вследствие:</p> <p>отсутствия широкого исследования полисахаридных реагентов различных производителей;</p> <p>выявления малой области применения КМК со степенью замещения менее 30.</p> <p>У2Сл1Сл2 – возможно развитие конкурентных исследований вследствие использования полисахаридных реагентов различных производителей или КМК с высокой степенью замещения;</p> <p>У4Сл3 – возможно получение неточных данных вследствие многократного использования порций раствора.</p>
--	--	--

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Порядок планирования научно-исследовательских работ по исследованию понизителей фильтрации буровых растворов на основе карбоксиметильных эфиров крахмала и целлюлозы следующий:

- определение структуры работ в рамках научного исследования с установлением исполнителей каждого этапа проекта;
- расчет продолжительности каждого этапа работ;
- построение календарного план-графика научных исследований;
- формирование бюджета научно-исследовательского проекта.

Перечень этапов работ по исследовательскому проекту и распределение исполнителей по видам работ приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Этапы работ	№ раб	Содержание работ	Исполнитель
Определение направления и целей исследования	1	Определение направления исследования	Руководитель
	2	Подбор литературных источников и их изучение	Магистрант
	3	Календарное планирование работ	Руководитель, Магистрант
Проведение теоретических и экспериментальных исследований	4	Составление литературного обзора	Магистрант
	5	Проведение экспериментальных исследований в лабораторных условиях	Магистрант, аспирант
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка результатов исследования и формулировка выводов	Руководитель, магистрант, аспирант
Оформление отчета по исследовательской работе	7	Написание магистерской диссертации	Магистрант

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты, в основном, образуют большую часть стоимости проводимых исследований, поэтому определение трудоемкости работ каждого из участников является важным моментом.

Оценка трудоемкости проведения научных исследований производится экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, вследствие зависимости от множества различных трудно учитываемых факторов. Для расчета ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожи}$  применяется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{махи}}{5}, \quad (2)$$

где  $t_{ожи}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{мини}$  – минимальная трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка – предполагается наиболее благоприятное стечение обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{махи}$  – максимальная трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка – предполагается наиболее неблагоприятное стечение обстоятельств), чел.-дн.

Далее определяется продолжительность каждой работы, исчисляемая рабочими днями,  $T_p$  (исходя из ожидаемой трудоемкости работ), при этом учитывается параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Определение рабочих дней необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{q_i}, \quad (3)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность работы одного вида, раб. дн.;

$t_{ожи}$  – ожидаемая трудоемкость работы одного вида, чел.-дн.;

$\text{Ч}_i$  – количество исполнителей, параллельно выполняющих работу одного вида, чел.

#### 4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения графика проведения научного исследования применяется наиболее наглядный и удобный ленточный график – в форме диаграммы Ганта.

Данная диаграмма представляет собой горизонтальный ленточный график, где работы каждого этапа представлены протяженными во времени отрезками, которые характеризуются датами начала и окончания выполнения данных работ. Для построения графика длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные. Для этого применяется следующая формула:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэфф. календарности.

Коэффициент календарности находится согласно формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})}, \quad (5)$$

где  $T_{\text{кал}} = 365$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}} = 118$  – количество выходных и праздничных дней в 2018 году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48.$$

Полученные по результатам расчетов значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляем до целого. Все полученные значения представлены в таблице 10.



Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

Виды работ	Трудоемкость работ			Исполнители	Продолжительность работ в раб. днях, $T_{pi}$	Продолжительность работ в календ. днях, $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ож}$ , чел-дни			
Определение направления исследования	7	12	9	Руковод.	9,0	13
Подбор литературных источников и их изучение	8	16	11,2	магистр.	11,2	17
Календарное планирование работ	2	4	2,8	Руков., магистр.	1,4	2
Составление литературного обзора	14	22	17,2	магистр.	17,2	25
Проведение экспериментальных исследований в лабораторных условиях	32	46	37,6	Магистр., аспирант	18,8	28
Оценка результатов исследования и формулировка выводов	16	26	20	Руковод., аспирант, магистр.	6,7	10
Написание магистерской диссертации	11	14	12,2	Магистр.	12,2	18

На основании таблицы 10 строится календарный план график проведения научно-исследовательских работ (таблица 11)

Таблица 11 – Календарный план-график проведения научно-исследовательских работ по исследованию понизителей фильтрации буровых растворов на основе карбоксиметильных эфиров крахмала и целлюлозы

№	Вид работ	Исполнит.	Т <sub>к</sub> кал. дни	Продолжительность выполнения работ															
				февраль				март				апрель				май			
1	Определение направления исследования (02.02.18-14.02.18)	Руков.	13	■															
2	Подбор литературных источников и их изучение (15.02.18-03.03.18)	Магистр.	17		■	■	■												
3	Календарное планирование работ (04.03.18-05.03.18)	Руков., Магистр	2					■											
4	Составление литературного обзора (06.03.18-30.03.18)	Магистр	25					■	■	■	■								
5	Проведение экспериментальных исследований в лабораторных условиях (31.03.18-27.04.18)	Магистр., аспирант	28									■	■	■	■				
6	Оценка результатов исследования и формулировка выводов (28.04.18-7.05.18)	Руков., Магистр., аспирант	10												■	■			
7	Написание магистерской диссертации (8.05.18-25.05.18)	Магистр	18													■	■	■	■

■ – руководитель; ■ – магистрант; ■ – аспирант.

#### 4.2.4 Расчет материальных затрат научно-исследовательского проекта

Величина расходов, затраченных на приобретение реагентов, используемых при исследовании фильтрационных свойств бурового раствора, рассчитывается по формуле:

$$З_M = (1 + k_t) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{РАСХ}i}, \quad (6)$$

где  $m$  – кол-во видов материальных ресурсов, применяемых в процессе выполнения научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$  – кол-во материальных ресурсов  $i$ -го вида, требуемых для выполнения научного исследования (шт.);

$Ц_i$  – стоимость единицы  $i$ -го потребляемого материального ресурса (руб./шт.);

$k_T$  – коэффициент для учёта транспортно-заготовительных расходов. Коэффициент  $k_T$ , описывающий транспортные расходы на доставку материалов принимается минимальным, равным 15% (т.е.  $k_T = 0,15$ ) от самой стоимости этих материалов. Минимальный уровень стоимости доставки объясняется тем, что все составляющие бурового раствора поставляются местными компаниями и лицами.

Все рассчитанные материальные затраты, необходимые для исследования понизителей фильтрации на основе полисахаридных реагентов, представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Рассчитанные материальные затраты

Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Цена, руб.
Thermpac	Кг	1	260
Polypac ELV	Кг	1	320
CMC LV	Кг	1	160
PAC LV	Кг	1	190
CMS	Кг	1	50
ПБМБ	Кг	5	100
NaCL	Кг	0,5	46
CaCL <sub>2</sub>	Кг	1	28
NaOH	Кг	0,2	56
Ксантановая смола	Кг	0,5	90
Мраморная крошка	Кг	2	10
Суммарная стоимость			1310
Итого, с учетом транспортных расходов (15% от суммарной стоимости материалов)			1506,5

Таким образом, стоимость приобретения реагентов для исследования фильтрационных свойств буровых растворов составила 1506,5 руб.

#### 4.2.5 Расчет затрат на специальные оборудования и компоненты для проведения научных исследования и экспериментальных работ

Затраты на специальное оборудование не требуются, поскольку данное исследование проводится в испытательной научно-инновационной лаборатории «Буровые промывочные и тампонажные растворы» Томского политехнического университета.

#### 4.2.6 Затраты по основной заработной плате

Время, отведенное на проведение научно-технического исследования, представлено в таблице 13. Руководитель оказывает информационную поддержку при проведении научных исследований каждый свой рабочий день, что следует учитывать при расчете заработной платы.

Таблица 13 – Продолжительность работ каждого исполнителя при проведении исследований

Показатели рабочего времени		Руководитель	Аспирант	Магистрант
Календарное количество дней	с 02.02 по 25.05 2018 г.	113		
Количество нерабочих дней – выходные + праздничные дни	с 02.02 по 25.05 2018 г.	20	25	
Продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником в период с 02.02.2018 по 25.05 2018 г., раб. дн.		93	38	88

Перед тем, как рассчитать основную заработную плату работников, задействованных в научно-техническом исследовании, требуется подсчитать их месячный должностной оклад. В данном проекте такими работниками являются руководитель, аспирант и дипломник.

Расчет месячного должностного оклада исполнителя производится по формуле:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (7)$$

где  $З_{\text{тс}}$  – заработная плата согласно тарифной ставки, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэфф., принимается 0,3;

$k_{\text{д}}$  – коэфф. доплат и надбавок, принимается 0,2;

$k_{\text{р}}$  – районный коэфф. к заработной плате,  $k_{\text{р}} = 1,3$  (для г. Томска).

Таблица 14 – Рассчитанные должностные месячные оклады

Исполнители	Разряд	$З_{\text{тс}}$ , руб.	$З_{\text{м}}$ , руб
Руководитель	4	15090	29425
Аспирант	2	11280	21996
Дипломник	1	0	0

Среднедневную заработную плату определяем по следующей формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (8)$$

где  $З_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад исполнителя, руб. (таблица 22);

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  мес, 5-дн. раб. неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  мес, 6-дн. раб. неделя);

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб. дн. (таблица 13).

Годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала в 2018 г.

Показатели рабочего времени	Руководитель	Аспирант	Магистрант
Календарное количество дней	365		
Количество нерабочих дней – выходные + праздничные дни	98	118	118
Потери рабочего времени, дни			
– отпуск	48	24	24
– невыходы по болезни	18	16	12
Действительный годовой фонд рабочего времени, дни	201	207	211

Произведя расчет по формуле 8 с учетом годового фонда рабочего времени, получим среднедневную заработную плату для каждого рабочего (таблица 16).

Таблица 16 – Среднедневная заработная плата исполнителей научно-исследовательского проекта

Исполнитель	Руководитель	Аспирант	Магистрант
Среднедневная ЗП, руб.	1522	1190	0

Расчет основной заработной платы выполняется по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (9)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 21);

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб. (таблица 24).

Произведя расчет по формуле 16 с учетом продолжительности работ для каждого научно-технического работника, получим основную заработную плату работника за период с 02.02.2018 по 25.05.2018 г. (таблица 25).

Таблица 17 – Основная заработная плата для научно-технического персонала за период с 02.02.2018 по 25.05.2018 г

Исполнитель	Руководитель	Аспирант	Магистрант
Основная ЗП, руб.	141546	45220	0

Общие затраты на основную заработную плату научно-технического персонала, непосредственно участвующего в проводимых работах, составляют 186766 руб. (сто восемьдесят шесть тысяч семьсот шестьдесят шесть рублей).

#### 4.2.7 Отчисления в государственные внебюджетные фонды

Данная статья расходов отражает обязательные отчисления по установленным законодательством РФ нормам в Фонд социального страхования (ФСС), Пенсионный фонд России (ПФР) и Федеральный фонд обязательного медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (10)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На основании пункта 1.1. ст. 284 Налогового кодекса РФ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность по хозяйственному договору, в 2017 году введена ставка – 30, 2% [21].

Таблица 18 – Размер обязательных отчислений страховых взносов

Вид затрат	Руководитель	Аспирант	Магистрант
Основная ЗП, руб.	141546	45220	0
Единоразовые выплаты, руб.	0	0	0
Размер страховых взносов, руб.	42746,9	13656,4	0
Суммарные страховые взносы для всего персонала составили			56403,3

#### 4.2.8 Накладные расходы

Величина накладных затрат обуславливается расходами, не попавшими в предыдущие статьи расходов, такие как ксерокопирование и печать материалов исследований, оплата услуг связи, электроэнергии и т.д. Она рассчитывается согласно формуле:

$$З_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot \sum_5^1 З_i, \quad (11)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэфф., учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% (т.е. 0,16).

$$З_{\text{накл}} = 0,16 \times (186766 + 56403,3 + 1506,5) = 39148,1 \text{ руб.}$$

#### 4.2.9 Формирование бюджета научно-исследовательского проекта

Величина бюджета на разработку научно-исследовательской продукции является нижним пределом по уровню затрат, который защищается научной организацией при формировании договора с заказчиком.



Бюджет включает в себя учет всех ранее рассчитанных необходимых затрат для проведения научных исследований и получения, в конечном итоге, продукта, который и является целью работы.

Таблица 19 – Перечень работ и их стоимость, относящихся к НТИ

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	1,51	Пункт 4.2.4
2. Затраты на специальные оборудования и компоненты	0	Пункт 4.2.5
3. Затраты по основной заработной плате	186,76	Пункт 4.2.6
4. Затраты по дополнительной заработной плате	0	
5. Отчисления во внебюджетные фонды	56,4	Пункт 4.2.7
6. Накладные расходы (16% от суммы расходов, рассчитанных в пунктах 7.1 – 7.5)	39,15	Пункт 4.2.8
7. Итоговая величина затрат	283,82	Сумма ст. 4.2.4-4.2.8

Бюджетный фонд, сформированный для проведения научно-исследовательской работы по исследованию понизителей фильтрации буровых растворов на основе карбоксиметильных эфиров крахмала и целлюлозы, составил 283,82 тыс. руб.

## **5 Социальная ответственность**

Целью магистерской диссертации является исследование возможности применения карбоксиметилкрахмала (КМК) в современных рецептурах буровых растворов в качестве понизителя фильтрации и альтернативы более дорогостоящим реагентам на основе низковязкой полианионной целлюлозы (ПАЦ НВ). В данном разделе магистерской диссертации производится анализ возможных опасных и вредных факторов при применении объекта исследования и при работе с понизителями фильтрации в лабораторных условиях.

В качестве работника рассматривается лаборант, рабочее место – лаборатория буровых растворов.

В процессе проведения научного исследования лаборант производит экспериментальные исследования, осуществляет сбор и обработку материалов в соответствии с утвержденной методикой работы, производит подготовку, регулировку применяемых приборов, согласно инструкциям по эксплуатации.

Объектами исследования являются системы полимер-глинистых, минерализованных полимер-глинистых и биополимерных буровых растворов на водной основе, содержащих понизители фильтрации на основе карбоксиметилированной целлюлозы и крахмала. Среди применяемых реагентов: NaOH (каустическая сода), ПБМБ (глинопорошок бентонитовый), NaCl (хлорид натрия), ксантановая смола (ксантановая камедь), KCl (хлорид калия), мраморная крошка, СМС LV (карбоксиметилцеллюлоза), Polypac ELV (полианионная целлюлоза), Termrac (карбоксиметилкрахмал).

Цель данного раздела – обеспечение производственной безопасности работника и охрана окружающей среды.

## **5.1 Анализ вредных и опасных факторов, создаваемых объектом исследования в производственных условиях**

Объекты исследования – системы полимер-глинистых, минерализованных полимер-глинистых и биополимерных буровых растворов на водной основе. Работа с данными буровыми растворами не оказывает негативного воздействия на человека.

## **5.2 Вредные и опасные факторы, возникающие в лабораторном помещении при проведении исследований**

По ГОСТ 12.0.003-74 [30] выделяются вредные и опасные факторы производственной среды, представленные в таблице 20.

Таблица 20 – Опасные и вредные факторы, возникающие в процессе исследований понизителей фильтрации на основе карбоксиметилкрахмала и целлюлозы в лаборатории буровых растворов

<b>Источник фактора, наименование видов работ</b>	<b>Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)</b>		<b>Нормативные документы</b>
	<b>Вредные</b>	<b>Опасные</b>	
1. Приготовление (земешивание) моделей полимерных растворов. 2. Термическое воздействие на модели растворов.	1. Недостаток естественного света. 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 3. Пониженная влажность воздуха. 4. Пониженная температура воздуха.	1. Электрический ток. 2. Движущейся машины и механизмы производственного оборудования 3. Высокая температура поверхности оборудования.	ГН 2.2.5.1313-03 [31] СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [32] ГОСТ 12.1.038-82 [34] ГОСТ Р 12.1.019-2009 [42] СанПиН 2.2.4.548–96 [43] ГОСТ 12.2.003-91 [46]

### **5.2.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению**

#### ***Отклонение показателей микроклимата в помещении***

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Оптимальные параметры микроклимата согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [43] на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в таблице 21, допустимые в таблице 22, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Перепады температуры воздуха по высоте и по горизонтали, а также изменения температуры воздуха в течение смены при обеспечении оптимальных величин микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2°C и выходить за пределы величин.

Таблица 21 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относ. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Іб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	Іб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 22 применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

В качестве категории работ выбрана категория Іб, к которой относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121-150 ккал/ч (140-174 Вт), которые сопровождаются некоторыми физическими напряжениями и производятся сидя, стоя или связанные с ходьбой.

Помещение аудитории не оборудовано системами кондиционирования или вентиляции, воздухообмен в нем обеспечивается путем естественного проветривания помещения (открытие окон) на основании субъективных ощущений персонала. Вследствие этого температура в помещении неравномерно колеблется в пределах от 20 до 25 °С, влажность от 30 до 60 %. В лаборатории имеется различное

оборудование, в том числе и нагревательного действия (печь), и, при ее применении, возможен нагрев воздуха в лаборатории и снижение влажности. Из таблиц 21, 22 можем сделать вывод, что рабочее место находится в диапазоне допустимых величин показателей микроклимата для работы.

Таблица 22 – Допустимые величины показателей микроклимата в лаборатории

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных
Холодный	І6 (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
Теплый	І6 (140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75	0,1	0,3

Для соблюдения и поддержания оптимальных показателей микроклимата необходимо использовать систему кондиционирования, увлажнитель воздуха.

### ***Недостаточная освещенность рабочей зоны***

Нерациональная расстановка рабочих столов в лаборатории может привести к тому, что в рабочей зоне будет пониженная естественная освещенность. Также возможен вариант, когда лаборатория находится в помещении без окон. Негативно скажется и недостаточное количество источников искусственного освещения рабочего места лаборанта.

Несовершенное освещение оказывает воздействие на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность. Также оказывается влияние на психику человека, его эмоциональное состояние. В результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных световых сигналов происходит усталость центральной нервной системы. Люди могут ощущать усталость глаз и переутомление, работая при освещении низкого уровня, что приводит к снижению работоспособности. В некоторых случаях это приводит к головным болям.

Нормативы искусственного, естественного и смешанного типов освещений согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [32] представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Нормы освещения для аналитической лаборатории

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение				
		КЕО, %		КЕО, %						
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	Освещенность, лк			Показатель дискомфорта (не более)	Коэффициент пульсации освещенности, % (не более)
						Всего	От общего	При общем освещении		
Аналитическая лаборатория	Г*-0,8	4,0	1,5	2,4	0,9	600	400	500	40	10

Примечание:  $\Gamma^*$  – горизонтальная плоскость. Коэффициент естественной освещенности (КЕО) представляет собой выраженное в процентах отношение освещенности в данной точке помещения к одновременной освещенности точки, находящейся на горизонтальной плоскости вне помещения и освещенной рассеянным светом всего небосвода.

Значения естественного и искусственного освещений необходимо довести до регламентных значений согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [32]. Так как в лаборатории окна находятся только на одной стороне, то в помещении необходимо произвести планировку мебели таким образом, чтобы ни один из элементов лабораторной мебели не создавал тень для любой из рабочих зон. Лаборатория буровых растворов оборудована светильниками «Армстронг», каждый из которых содержит по 4 электролюминесцентные лампы. Каждый светильник имеет световой поток равные 5200 Лм. Все 6 светильников создают благоприятную для работы освещенность рабочей зоны.

### **5.2.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению**

#### ***Электрический ток***

Опасность поражения электрическим током несут все электрические приборы, подключенные к сети (вискозиметры, мешалки, печь). Это может произойти либо при повреждении изоляции токоведущих проводов или частей оборудования, либо при отсутствующем заземлении оборудования.

Ток в теле человека оказывает термическое, электролитическое и биологическое действие. Термическое воздействие выражается в ожогах, нагреве и повреждении капилляров, сосудов и вен. Электролитическое воздействие выражается в разложении крови и нарушении её состава. Биологическое воздействие выражается в нервных судорогах и раздражении тканей [33].

Значения напряжений прикосновения и токов при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки согласно ГОСТ 12.1.038-82 [34] имеют следующие значения (не более):

- переменный ток 50 Гц: напряжение – 2В, сила тока – 0,3 мА;
- постоянный ток: напряжение – 8В, сила тока – 1мА.



Согласно ПУЭ [44] по классификации помещений по опасности поражения людей электрическим током лаборатория относится к помещениям без повышенной опасности, поскольку отсутствуют условия, которые бы создавали повышенную или особую опасность (влажность воздуха не превышает 75%; полы керамические нетокопроводящие; отсутствие возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой; напряжение менее 380 В переменного и 440 В постоянного тока).

Для исключения поражения электрическим током согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 [42] в качестве коллективных средств защиты необходимо применить усиленную изоляцию токоведущих частей электрооборудования. Также по всей лаборатории обязательно к применению защитное заземление всех электроустановок. Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, необходимо применять диэлектрические перчатки (поскольку все электрооборудование в лаборатории является настольным и касание электроустановок возможно только руками, проводов на полу в зоне перемещения лаборанта нет).

### ***Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования***

Данный фактор возникает при работе с верхнеприводными мешалками, так как их вращающиеся части не закрыты защитными кожухами (не предусмотрено конструкцией) по ГОСТ 12.2.003-91 [46].

Меры безопасности, в большинстве, сводятся к соблюдению техники безопасности при работе в лаборатории.

Верхнеприводную мешалку, вискозиметр, вальцовую печь запрещается применять не по назначению, а также использовать их в неисправном состоянии. В процессе работы необходимо использовать средства индивидуальной защиты (перчатки, очки защитные, лабораторный халат) [47].

### ***Ожоги***

Так как существует риск получения ожогов из-за высокой температуры поверхностей при эксплуатации вальцовой печи (допустимая температура поверхностей представлена в таблице 22, согласно [43]), должны быть приняты меры, недопускающие эксплуатацию печи без использования термостойких рукавиц [47].

## **5.3 Экологическая безопасность**

### **5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

Согласно ГОСТ 17.1.3.06-82 [48] к перечню источников загрязнения подземных вод относятся буровые скважины и другие горные выработки. Объектами данного научного исследования являются системы полимер-глинистых, минерализованных полимер-глинистых и биополимерных буровых растворов на водной основе, содержащих понизители фильтрации на основе карбоксиметилированной целлюлозы и крахмала. В зависимости от рецептур растворов применяются следующие компоненты: NaOH (каустическая сода), ПБМБ (глинопорошок бентонитовый), NaCl (хлорид натрия), ксантановая смола (ксантановая камедь), KCl (хлорид калия), мраморная крошка, СМС LV (карбоксиметилцеллюлоза), Polypac ELV (полианионная целлюлоза), КМК (карбоксиметилкрахмал). Компоненты на основе полисахаридов (ксантан, КМК, КМЦ) являются биоразлагаемыми,

глинопорошок, соли калия и натрия, низкая концентрация NaOH 0,05% (ПДК не регламентируется в [48]) не причиняют вреда окружающей среде.

Во время бурения буровой раствор обогащается шламом, нефтепродуктами, здесь появляется опасность загрязнения окружающей среды. Существуют два способа бурения – амбарный и безамбарный. В первом случае буровые отходы размещаются в специальных шламовых амбарах, снабженных противодиффузионным экраном, предотвращающим проникновение опасных веществ в грунтовые воды. В общем случае процесс ликвидации шламовых амбаров выглядит следующим образом:

- снятие нефтяной пленки с поверхности;
- очистка жидкой фазы отходов от нефти;
- доочистка жидкой составляющей отходов;
- обезвреживание бурового шлама;
- утилизация бурового шлама (обезвреживание и переработка).

Понятие безамбарное бурение подразумевает систему с высокой степенью очистки буровых растворов, которая удовлетворяет экологическим требованиям благодаря избеганию сбросов жидких и твердых отходов в окружающую среду, при этом применяется специальное оборудование и технология.

Согласно [49] в целях защиты подземных вод от загрязнения при бурении скважин необходимо предусмотреть меры по предупреждению затрубных перетоков в водоносные горизонты, обваловку устьев скважин; химические реагенты для приготовления буровых растворов должны находиться под навесом на гидроизоляционных настилах, емкости для буровых растворов и шламовые амбары должны быть гидроизолированы.

### 5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Как и любые отходы промышленности, отходы лабораторных исследований могут оказывать значительное отрицательное влияние на все компоненты природной среды – биосферу, атмосферу, гидросферу и литосферу. Под воздействием отходов разрушаются и гибнут флора и фауна, происходит загрязнение воздуха, почвы и воды. При этом в природе возникают не свойственные ей негативные явления. Примерами могут служить кислотные осадки в атмосфере, возникающий парниковый эффект, разрушение озонового слоя, нарушение кислотности почв и другие явления. Все это значительно снижает качество окружающей среды и негативно влияет на здоровье населения.

Воздействие на атмосферу происходит при вытягивании химических испарений через вытяжную вентиляцию. Однако стоит отметить, что объемы реагентов, применяемых при одном эксперименте, генерируют незначительное количество вредных газов/аэрозолей. Величины предельно допустимых концентраций регламентируются [31] и, для применяемых при проведении исследований веществ, приведены в таблице 24.

Таблица 24 – ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	№ CAS	Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Преимуществ. агр. состояние	Класс опасности
Натрий хлорид	7647-14-5	5	а	3
Калий хлорид	7447-40-7	5	а	3
Натрий карбоксиметилцеллюлоза	—	10	а	3
Щелочи едкие (в пересчете на гидроксид натрия)	—	0,5	а	2

Модели буровых растворов утилизируются через систему водоотведения и канализации, воздействие на гидросферу характеризуется качеством обработки стоков городскими очистными сооружениями.

Воздействие на литосферу может быть также оценено качеством обработки стоков, после очистки вода попадает в окружающую среду.

### **5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды**

При выполнении опытов следует соблюдать инструкции и правила техники безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности, разработанные для данной лаборатории.

Поскольку концентрации генерируемых газов не большие, то достаточным методом защиты атмосферного воздуха будет рассеивание очищенных газов в атмосферном воздухе благодаря вытяжной вентиляции. Для очистки от возможных механических примесей можно применить угольный фильтр в канале вытяжной вентиляции (рисунок 21).



Рисунок 21 – Угольный фильтр «Клевер» для вытяжной вентиляции для очистки воздуха от механических примесей

Для защиты гидросферы в условиях лаборатории необходимо применение устройств с физико-химическими методами очистки. Широко распространена адсорбционная технология с применением активированных углей, которая позволяет получать остаточные концентрации основных загрязняющих веществ ниже нормативных значений. Также необходимы процессы флотации и ионного обмена. Поскольку площади помещения

лаборатории недостаточно для установки полноценных очистных сооружений, то достаточным будет заключение договора с предприятием, занимающимся очисткой сточных вод. Предполагается установка емкости объемом суточного потребления воды в подвальном помещении, куда будут поступать стоки из лаборатории. Оттуда стоки будут забираться специальной машиной для проведения очистки сточных вод от химикатов и загрязнений.

## **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1 Анализ вероятных ЧС, инициируемых объектом исследования**

Объектом научного исследования являются системы полимер-глинистых, минерализованных полимер-глинистых и биополимерных буровых растворов на водной основе, содержащие понизители фильтрации на основе полисахаридов. Чрезвычайные ситуации, инициируемые объектом исследования, отсутствуют.

### **5.4.2 Анализ вероятных ЧС, возникающих в лаборатории при проведении исследований и обоснование мероприятий по их предотвращению**

К возможным ЧС в лаборатории можно отнести пожар. Данная ситуация может возникнуть в случае короткого замыкания электропроводки либо при неисправности электроприборов. Также возникновение пожара возможно при неправильной эксплуатации печи. Стандарты и требования по пожарной безопасности установлены ГОСТ 12.1.004-91 [45].

Согласно НПБ 105-03 [38] исследовательскую лабораторию можно отнести к категории помещения В-4 «пожароопасные», так как в ней

находятся твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (деревянная мебель, бумага и прочее).

Для предупреждения проявления вышеописанной чрезвычайной ситуации необходимо проведение организационных, технических, эксплуатационных и режимных мероприятий по пожарной профилактике.

К организационным мероприятиям относится проведение противопожарного инструктажа раз в год. Необходимо знать план эвакуации на случай ЧС.



Рисунок 22 – План эвакуации при пожаре

Ежедневно рабочие места должны очищаться от горючих отходов исследований. Работы, связанные с выделением токсичных веществ, должны производиться только в исправных вытяжных шкафах. Сотрудники лаборатории должны знать места расположения средств пожаротушения и уметь их применить при возникновении пожара. В лаборатории запрещается:

- загромождать проход, а также проход к средствам пожаротушения;
- мыть полы с использованием горючих жидкостей;
- оставлять в рабочей зоне бумагу и ветошь;
- хранить в помещении лаборатории любые вещества с неизвестными пожароопасными свойствами;
- пользоваться электронагревательными приборами с открытой спиралью;
- при включенных электронагревательных приборах убирать случайно пролитые горючие жидкости.

Технические мероприятия предполагают монтирование и эксплуатацию электроустановок в соответствии с правилами устройства электроустановок [44]. Обязательным является наличие противопожарной сигнализации, которая при срабатывании осуществит оперативное оповещение людей о необходимости эвакуации. Лаборатория должна быть оборудована такими противопожарными средствами, как огнетушители. Углекислотные огнетушители ОУ-2 предназначены для тушения загораний различных веществ, за исключением тех, горение которых происходит без доступа воздуха, а также электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В. Порошковые огнетушители ОП-10 предназначены для тушения нефтепродуктов, электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В.

К режимным мероприятиям относятся запрет курения в лаборатории.

Эксплуатационные мероприятия заключаются в том, что при обнаружении дефектов в изоляции приборов, неисправности пускателей, вилок, розеток, а также заземления следует оперативно уведомить об этом ответственное лицо за противопожарное состояние лаборатории. Все неисправности, касающиеся электрооборудования, должны устраняться исключительно специалистом-энергетиком. Запрещается ремонтировать и



переносить включенные электрооборудование, находящееся под напряжением.

Порядок действий в случае возникновения ЧС:

- выключить электрооборудование;
- отключить вентиляцию;
- немедленно сообщить о случившемся по телефону в пожарную охрану – 01, 101, 112 (необходимо сообщить адрес объекта, место возникновения пожара, свою фамилию);
- сообщить по телефону заведующему лабораторией и охране корпуса №19;
- при необходимости отключить электроэнергию;
- принять меры по ликвидации очага возгорания при помощи первичных средств пожаротушения;
- при необходимости удалить с места возгорания горючие вещества и материалы [41].

## **5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **5.5.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства, характерные для рабочей зоны исследователя**

На должность лаборанта назначается лицо, имеющее среднее профессиональное образование без стажа работы или начальное профессиональное образование со стажем работы по специальности не менее 2 лет.

Лаборант должен знать:

- справочные и нормативные материалы по тематике выполняемой работы;
- методы проведения исследований;

- оборудование лаборатории и правила его эксплуатации;
- правила и нормы охраны труда, техники безопасности, основы трудового законодательства Российской Федерации, производственной санитарии и противопожарной защиты.

При приеме на работу работником обязательно должен быть пройден вводный инструктаж. Для получения допуска к самостоятельной работе работник должен освоить:

- проверку знаний инструкции по охране труда;
- первичный инструктаж на рабочем месте;
- действующую инструкцию по оказанию первой помощи пострадавшим в связи с несчастными случаями;
- инструктаж по применению средств защиты, необходимых для безопасного выполнения работ.

Лаборант должен оказать первую помощь пострадавшему при несчастном случае до прибытия медицинского персонала. Если несчастный случай произошел с самим лаборантом, то в зависимости от тяжести травмы он должен обратиться за медицинской помощью в здравпункт или сам себе оказать первую помощь. Каждый работник лаборатории должен уметь пользоваться аптечкой и знать ее местоположение.

Лаборант должен сообщать своему непосредственному руководителю об обнаруженных неисправных приспособлениях, инструменте и средствах защиты.

Согласно отраслевым нормам лаборанту химической лаборатории бесплатно должны выдаваться следующие средства индивидуальной защиты:

- халат хлопчатобумажный (на 12 мес);
- перчатки резиновые и трикотажные (на 1 мес);
- фартук прорезиненный (на 6 мес);
- сапоги резиновые (на 12 мес);
- очки защитные (до износа);

– респиратор (до износа).

Срок носки спецодежды должен удваиваться при выдаче двойного сменного комплекта.

Условия труда в лаборатории являются допустимыми (2 класс), при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, при этом уровни воздействия не превышают уровни, установленные гигиеническими нормативами условий труда, а измененное функциональное состояние организма работника восстанавливается во время регламентированного отдыха или к началу следующего рабочего дня (смены) [50].

При допустимых условиях труда (2 класс) повышения оплаты труда по сравнению с нормальными условиями труда не производится, дополнительный отпуск «за вредность» не предоставляется, сокращения рабочего времени не производится (статьи 92, 117, 147, 219 ТК РФ [51]).

Лаборант химической лаборатории перед началом работы должен:

- спецодежду привести в порядок, волосы убрать под плотно облегающий головной убор;
- проверить исправность приточно-вытяжной вентиляции;
- проверить работоспособность освещения рабочего места;
- убедиться в исправности электроприборов на рабочем месте и их заземления;
- проверить наличие четких надписей на бутылках с реактивами;
- проверить наличие и целостность стеклянной посуды, бюреток, пипеток, достаточность реактивов и реагентов [40].

### **5.5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя**

В химической лаборатории должно быть энергоснабжение, подводка холодной и горячей воды. Все электрооборудование должно быть заземлено.

Разводка коммуникаций к переносным приборам и нестационарному оборудованию должна проводиться открыто при помощи гибких проводов и шлангов, укрепленных на металлических трубопроводах зажимами.

Электроосвещение помещения и вытяжных шкафов должно быть выполнено во взрывобезопасном исполнении. Выключатели устанавливаются вне вытяжных шкафов.

Помещение лаборатории должно быть оборудовано системами локального удаления воздуха из вытяжных шкафов или отдельных приборов и оборудования помимо общей приточно-вытяжной вентиляции.

Рабочие столы и вытяжные шкафы для работы с химически активными веществами (кислотами, щелочами и др.) должны быть покрыты материалами, стойкими к агрессивной химической среде, и иметь бортики, предотвращающие стекание жидкости на пол.

Вытяжные шкафы, в которых происходит выделением вредных и горючих паров и газов при проведении работ, должны быть оборудованы верхними и нижними отсосами воздуха. Для обеспечения тяги дверцы вытяжных шкафов следует держать закрытыми с небольшим зазором внизу во время работ.

Металлические шкафы для хранения химических веществ должны быть зарыты на ключ и опечатаны.

Входящие в конструкцию производственного оборудования специальные технические и санитарно-технические средства (ограждения, экраны, вентиляторы и др.), обеспечивающие устранение или снижение

уровней опасных и вредных производственных факторов до допустимых значений, не должны затруднять выполнение трудовых действий [41].

## **Заключение**

В настоящее время значимую часть применяемых буровых растворов составляют полимер-глинистые и биополимерные растворы, где для регулирования фильтрационных свойств применяются полисахаридные модифицированные реагенты на основе крахмала и целлюлозы. Свойства реагентов КМК и ПАЦ (солестойкость и термостойкость, стойкость к биодеструкции, растворимость) зависят от качества исходного сырья, степени и равномерности замещения, применения специальных добавок при их изготовлении и чистоты конечного продукта. Чем большую проницаемость имеет фильтрационная корка, тем выше фильтрация и ее толщина. Необходимо поддерживать фильтрацию и проницаемость корки на как можно более низком уровне, для избежания загрязнения пластов, аварий и осложнений в процессе строительства скважин. Снижение водоотдачи при применении понизителей фильтрации достигается за счет перекрывания отверстия в фильтрационной корке увеличенными деформируемыми инкапсулированными твердыми частицами и частицами полимера; загущением жидкой фазы бурового раствора. На их эффективность в растворах влияет концентрация полимера, уровень pH, содержание солей, микроорганизмов, температура.

Из-за научной новизны информация в разделе не полная

## Список литературы

1. Овчинников В.П., Аксенова Н.А., Каменский Л.А., Федоровская В.А. Полимерные буровые растворы. Эволюция «из грязи в князи». // Бурение и нефть. – 2014. – № 12. – С. 24-29.
2. Fink J.K. Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids. – Gulf Professional Publ., 2011. – 808 p.
3. Минибаев В.В., Ильин И.А., Пестерев С.В. Эффективность полисахаридных реагентов в буровых растворах различной степени минерализации среды. // Бурение и нефть. – 2009. – № 10. – С. 48-50.
4. Alsabagh A.M., Abdou M.I., Khalil A.A., Ahmed H.E., Aboulrous A.A. Investigation of some locally water-soluble natural polymers as circulation loss control agents during oil fields drilling. // Egyptian Journal of Petroleum. – 2014. – V. 23. – Iss. 1. – P. 27-34.
5. Mahto V., Sharma V.P. Rheological study of a water based oil well drilling fluid. // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2004. – V. 45. – Iss. 1-2. – P. 123-128.
6. Рязанов Я.А. Энциклопедия по буровым растворам. – Оренбург: «Летопись», 2005. – 664 с.
7. Caenn R., Darley HCH, Gray G. Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids. – Gulf Professional Publ., 2017. – 729 p.
8. Смирнов С.И., Гальцева О.В., Кряжев В.Н., Карлович С.В., Крюков С.В. Эффективность реагентов КМЦ и ПАЦ в буровых растворах различной степени минерализации. // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 9. – С. 33-37.
9. Кряжев В.Н., Гальцева О.В., Смирнов С.И. КМЦ И ПАЦ – традиционные стабилизаторы буровых растворов. // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 6., – С. 28-33.
10. Кряжев В.Н., Карлович С.В. Исследование солестойкости реагентов на основе карбоксиметилцеллюлозы и полианионной целлюлозы.

// Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2012. – № 11. – С. 42-44.

11. Гальцева О.В., Кряжев В.Н. Влияние исходной целлюлозы на свойства КМЦ. // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 9. – С. 24-28.

12. Смирнов С.И., Гальцева О.В., Кряжев В.Н., Карлович С.В., Крюков С.В. Эффективность реагентов КМЦ и ПАЦ в буровых растворах различной степени минерализации. // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 9. – С. 33-37.

13. Ильин М.И., Смирнов С.И., Мячина Н.Е., Крюков С.В. Разработка технологии получения физически модифицированных крахмальных реагентов и их свойства. // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 9. – С. 23-27.

14. Лодина И.В., Анисимов А.В. Сравнение свойств крахмальных реагентов в системе минерализованного бурового раствора. // Нефть. Газ. Новации. – 2014. – № 9 (188). – С. 43-47.

15. Кряжев В.Н., Виноградова Г.В., Смирнов С.И. Реологические свойства композиций эфиров целлюлозы для буровых растворов. // Нефть. Газ. Новации. – 2014. – № 9 (188). – С. 48-51.

16. Мячина Н.Е., Смирнов С.И. Крахмальные реагенты ЗАО «Полицелл». // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 9. – С. 51-55.

17. Паскару К.Г., Литвяк В.В., Москва В.В., Андреев Н.Р., Костенко В.Г., Оспанкулова Г.Х. Модифицированные крахмалосодержащие продукты для бурения. // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 12. – С. 82-84.

18. Булатов А.И., Макаренко П.П., Проселков Ю.М. Буровые промывочные и тампонажные растворы: Учеб. пособие для вузов. – М.: ОАО «Издательство «Недра», 1999. – 424 с.: ил.

19. Минибаев В.В., Ильин И.А., Пестерев С.В. Методика оценки эффективности бактерицидных реагентов для буровых растворов. //



Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 11. – С. 26-29.

20. Обрезкова М.В., Будаева В.В., Сакович Г.В. Карбоксиметилцеллюлоза из нетрадиционного сырья. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 11. – С. 29-32.

21. Тесленко В.Н., Тимохин И.М., Русаев А.А., Колесникова Т.И. Механизм деструкции водорастворимых эфиров целлюлозы и пути ее замедления ингибиторами. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2000. – № 12. – С. 44-49.

22. Мохаммед Ф.Х. Влияние температуры на реологию и фильтроотдачу буровых растворов на водной основе. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2008. – № 7. – С. 38-41.

23. Кряжев В.Н. Химическая модификация крахмала (краткий обзор). // Нефть. Газ. Новации. – 2017. – № 6. – С. 70-72.

24. Зайнуллина А.Ш., Песириди Я.Ю., Исмукашева М. Оценка реологических параметров модифицированного крахмала в буровых растворах. // Вестник Алматинского технологического университета. – 2017. – № 2. – С. 92-96.

25. Барахнина В.Б., Ягафарова Г.Г., Хисматуллина Д.Д. Биостойкость отработанных целлюлозосодержащих реагентов буровых растворов. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Химия. – 2009. – № 23 (1560). – С. 21-25.

26. Исламов Х.М. Регулирование свойств буровых растворов на основе полимерного крахмального реагента. // Геология, география и глобальная энергия. – 2008. – № 2. – С. 162-166.

27. Денисова М.Н., Будаева В.В., Минаев К.М. Физико-химические свойства полисахаридных реагентов, основным компонентом которых является натрий карбоксиметилцеллюлоза. // В сборнике: Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности Материалы IX Всероссийской научно-практической

конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. – 2016. – С. 457-464.

28. Беленко Е.В. Изучение биодеструкционных процессов полисахаридных полимеров // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2007. – № 8 – С. 32–36.

29. Сагитов Р.Р., Минаев К.М., Захаров А.С., Королев А.С., Минаева Д.О. Исследование понизителей фильтрации буровых растворов на основе карбоксиметильных эфиров крахмала и целлюлозы. // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 11. – С. 102-105.

30. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ «Опасные и вредные факторы производства»

31. ГН 2.2.5.686-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы

32. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий

33. Воздействие тока на организм человека / АО Энергетик (электронный ресурс). Режим доступа: свободный. URL: <http://www.energetik-ltd.ru> (дата обращения: 06.04.2018)

34. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1)

35. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

36. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник для бакалавров / С.В. Белов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт; ИД Юрайт, 2013. – 682 с.

37. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве
38. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
39. Инструкция о мерах пожарной безопасности в научно-инновационной лаборатории «Буровые промывочные и тампонажные растворы»
40. Типовая инструкция по охране труда для лаборанта химического анализа / Охрана труда в России (электронный ресурс). Режим доступа: свободный. URL: [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/norma/392170/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/392170/) (дата обращения: 06.04.2018)
41. Инструкция № 13-107 по охране труда для работающих с химическими веществами. Научно-инновационная лаборатория «Буровые промывочные и тампонажные растворы»
42. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
43. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
44. Правила устройства электроустановок. Шестое издание, переработанное и дополненное, с исправлениями, 2002
45. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением №1)
46. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности
47. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
48. ГОСТ 17.1.3.06–82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.

49. СП 2.1.5.1059–01 Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения.

50. Федеральный закон от 28.12.2013 N 426-ФЗ (ред. от 01.05.2016) «О специальной оценке условий труда»

51. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018)

**Приложение А**  
(справочное)

**THE COMPARATIVE RESEARCH OF FILTRATION REDUCERS  
BASED ON CARBOXIMETHYL ESTERS OF STARCH AND  
CELLULOSE IN MODERN DRILLING MUD SYSTEMS**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Д	Зубрилин Максим Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Минаев Константин Мадестович	к.х.н		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Стрельникова Анна Борисовна	к.ф.н.		

## Introduction

Drilling mud is a complex dispersion system with regulated physicochemistry properties. A considerable part of applied drilling fluids is polymer-clay and biopolymer ones containing carboxymethylated cellulose and starch, xanthan gum to control rheological and filtering properties [1, 2]. Despite composition similarity of polysaccharide reagents it can be classified according to main function – viscosifiers (xanthan gum, high-molecular carboxymethylated cellulose, etc) and filtering reducers (water-soluble starch, low-molecular carboxymethylated cellulose (CMC) and starch (CMS), etc) [3-5].

Filtration processes play an essential role during well drilling to preservation of productive strata permeability and prevention accident risks and drilling troubles [6]. Mud solids migrate into near wellbore zone forming mud cake under differential pressure and mud filtrate go through it. If mud cake has high permeability it grows in size, leading to decrease effective borehole diameter. It may cause variety of drilling troubles such as undue rotation torque, pressure pulses during drilling tool round trip and flow resistance, leading to hole sloughing as well as increase probability of differential sticking and tight pull [7]. To decrease a mud cake permeability and filtrate volume, drilling mud is treated by polymer reagents – filtering reducers. In modern mud formulas filtering reducers are mostly used low-molecular carboxymethylated cellulose derivatives such as low-viscosity carboxymethylated cellulose (CMC LV) with degree of substitution around 85 and low-viscosity polyanionic cellulose (PAC LV) with degree of substitution than 90 [8, 9]. These small differences in structure and composition influence significantly on consumptive qualities of the polymer. PAC LV has higher salt resistance and thermal stability that significantly expand the application field.

Nowadays the use of reagents based on starch are restricted in drilling fluid systems to drilling-in because a mud cake containing starch derivatives biologically dissolves and dissolves by acid. It minimizes adverse effect of

drilling mud on filtration properties of productive strata. During drilling other intervals starch derivatives are applied rarely as filtering reducers, it is frequently used in salt drilling mud because of decreasing rate of biodegradation in comparison with fresh-drilling mud. To eliminate these defects and increase thermostability carboxymethyl groups can be added in a polymer structure. This solution is economically viable because of less prime cost (about 30-50%) than using PAC LV. The most typical CMS is made of cornstarch or potato starch [10]. CMS producers recommend using CMS to all types of water-based drilling mud and to substitutionally PAC LV. However, there is no research in effectiveness and possibility of substitution CMC and PAC to CMS. Modern drilling mud properties with CMS and PAC LV filtering reducers were studied in this paper. Model systems of polymer-clay, mineralized polymer-clay and polymer drilling fluids are shown in table 1.

**Table 1.** Model systems of drilling muds/fluids

<b>Model of drilling muds</b>	<b>Component</b>	<b>Content, wt. %</b>
Polymer-clay	Sodium hydroxide	0.05
	PBMB (production of Khakassian bentonite)	5.00
	Test of polysaccharidic reagent	1.00
Mineralized polymer-clay	Sodium hydroxide	0.05
	PBMB (production of Khakassian bentonite)	7.00
	Sodium chloride	31.10
	Test of polysaccharidic reagent	1.00
Biopolymer	Sodium hydroxide	0.05
	Xanthan gum Saboxan (production of Spring)	0.30
	Potassium chloride	8.00
	Marble chips MK-4	5.00
	Test of polysaccharidic reagent	1.00

The main technological properties of drilling mud were defined according to State Standard GOST 33213-2014 [11]. Carboxymethyl esters of cellulose and starch used by a major international company were chosen. Properties of

polysaccharide reagents were defined according to [12], the results are shown in table 2.

**Table 2.** PAC LV and CMS properties

<b>Property</b>	<b>PAC LV</b>	<b>CMS</b>
Appearance	white powder	white powder
Mass content of water, %	7.3	8.2
Dynamic viscosity of 2 % aqueous solution at 20 °C, mPa·s (Shear rate 132 s <sup>-1</sup> , spindle SC4-18)	215.7	44.8
Degree of substitution	92.0	29.3
Mass content of substance in product, %	94.0	95.7
pH of 1 % solution	7.3	8.1

According to the obtained results CMS has smaller viscosity and degree of substitution in comparison with PAC LV. Most of commercially-produced CMS reagents have degree of substitution no more than 30 [13].

Из-за научной новизны информация в разделе не полная